

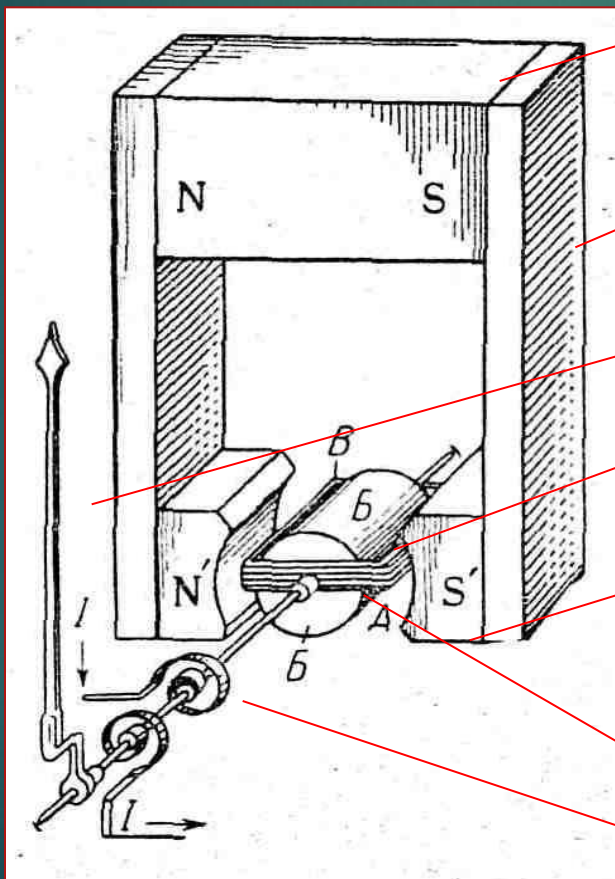
# Магнитоэлектрическая система измерительных приборов

## ЛЕКЦИЯ 8

# Моменты сил, действующие на механическую систему

- ▶ В магнитоэлектрическом измерительном механизме вращающий момент создается в результате взаимодействия магнитного поля постоянного магнита и магнитного поля проводника с током, выполненного в виде катушки-рамки, причём подвижными могут быть как магниты, так и катушки с подвижной катушкой .

# Устройство магнитоэлектрического измерительного механизма (ИМ)



1 – постоянный магнит

2 – магнитопровод из магнитомягкого материала

3 – указатель

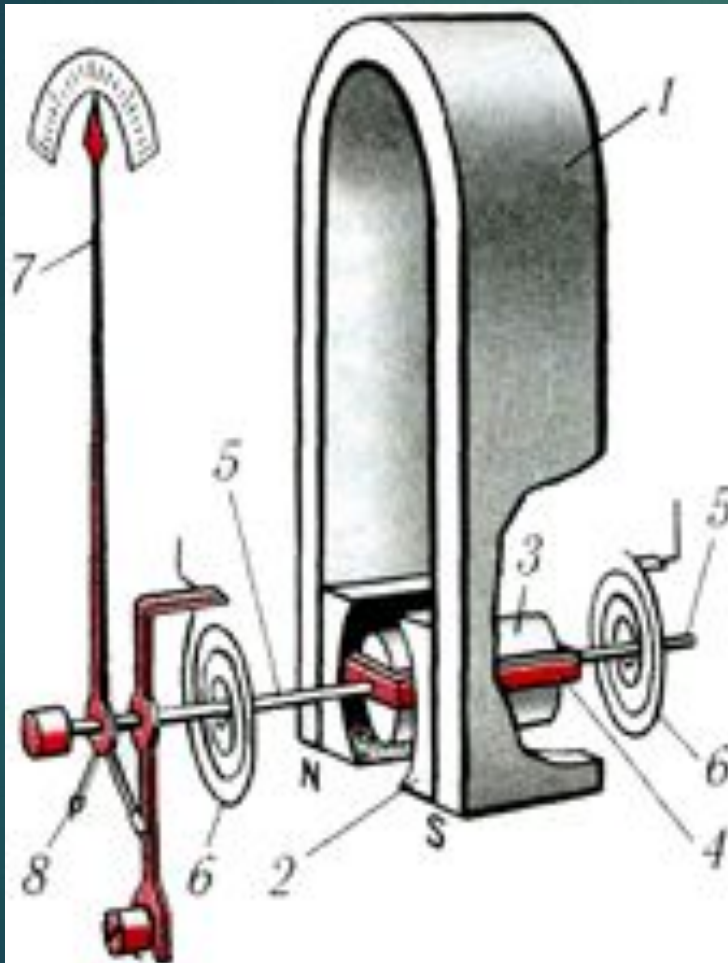
4 – неподвижный сердечник цилиндрической формы

5 – полюсные наконечники

6 – подвижная катушка

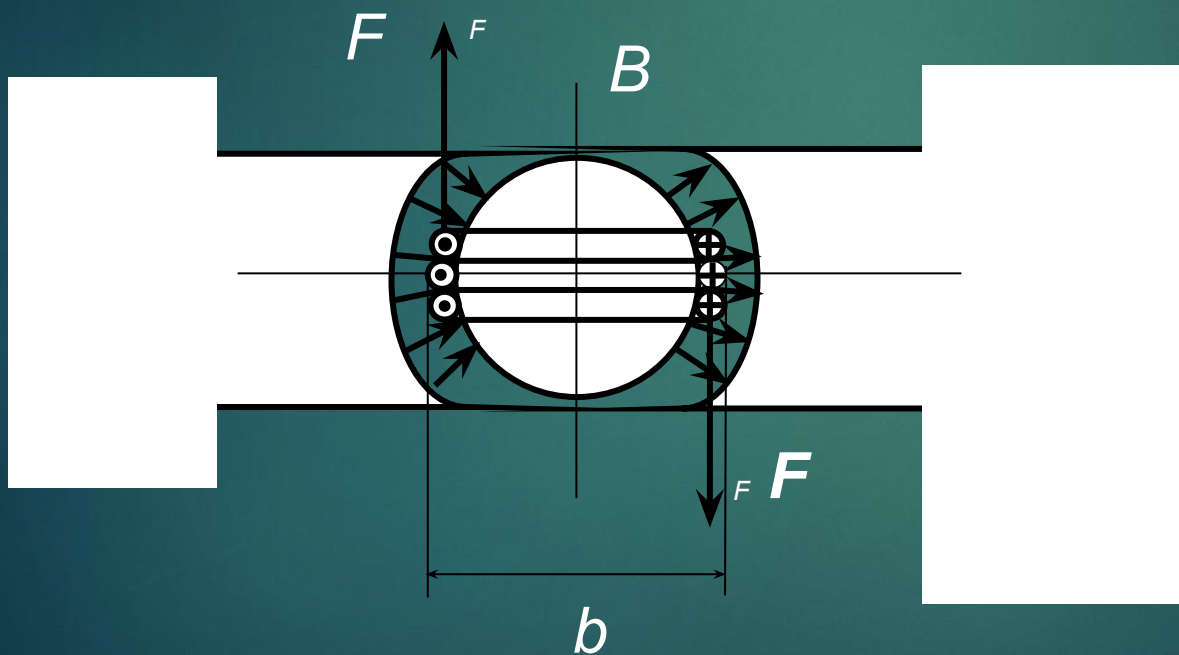
7 – спиральная пружина

В зазоре между полюсными наконечниками и сердечником устанавливается рамка. Ее полюсы вставляются в стеклянные или агатовые подшипники.

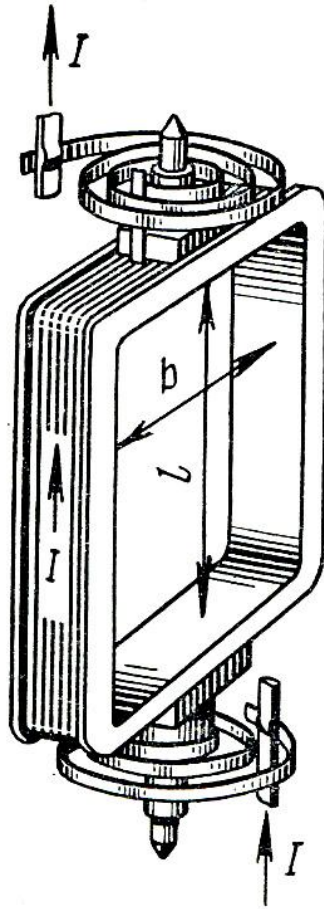


В каждый момент времени рамка находится под действием двух противоположно направленных вращающих моментов: один из которых (электрический) пропорционален току  $i$ , протекающему через обмотку, а другой (создаваемый механически) пропорционален углу поворота рамки  $\alpha$ . Если ток  $i$  не изменяется во времени (постоянное значение  $I$ ), то устанавливается стационарный угол отклонения, пропорциональный току  $I$  (указатель неподвижен). Если сила тока изменяется во времени, то возникающий электрический момент изменяется без инерционно вслед за силой тока, устанавливающийся угол поворота  $\alpha$  определяется передаточной функцией механической системы.

# Создание вращающего момента



- ▶ Ток к подвижной катушке подводится через две спиральные пружинки. При протекании тока  $I$  через подвижную катушку создается вращающий момент.



Рамка  
магнитоэлектрического измерительного механизма

# Создание вращающего момента

- ▶ При протекании по катушке тока  $I$  возникают силы  $F$ , стремящиеся повернуть катушку так, чтобы её плоскость стала перпендикулярна направлению  $O-O$ .
- ▶ Сила  $F$ , действующая на один проводник равна:

$$F = BIl,$$

где  $B$  – индукция магнитного поля в воздушном зазоре;

$l$  – длина активной стороны катушки, пересекающей линии магнитного поля;

$I$  – ток в проводнике.

# Создание вращающего момента

- Момент силы, действующей на каждый проводник катушки, равен

$$M = F \frac{b}{2},$$

где  $\frac{b}{2}$  - расстояние проводника до оси вращения катушки.

- Суммарный вращающий момент, действующий на все проводники:

$$M_{вр} = 2BlI \frac{b}{2} n = BsnI,$$

где  $n$  – число витков; множитель "2" учитывает образование пары сил, действующей на каждый проводник;

$S$  - площадь катушки.



# Уравнение шкалы

- ▶ Уравнение шкалы магнитоэлектрического измерительного прибора:

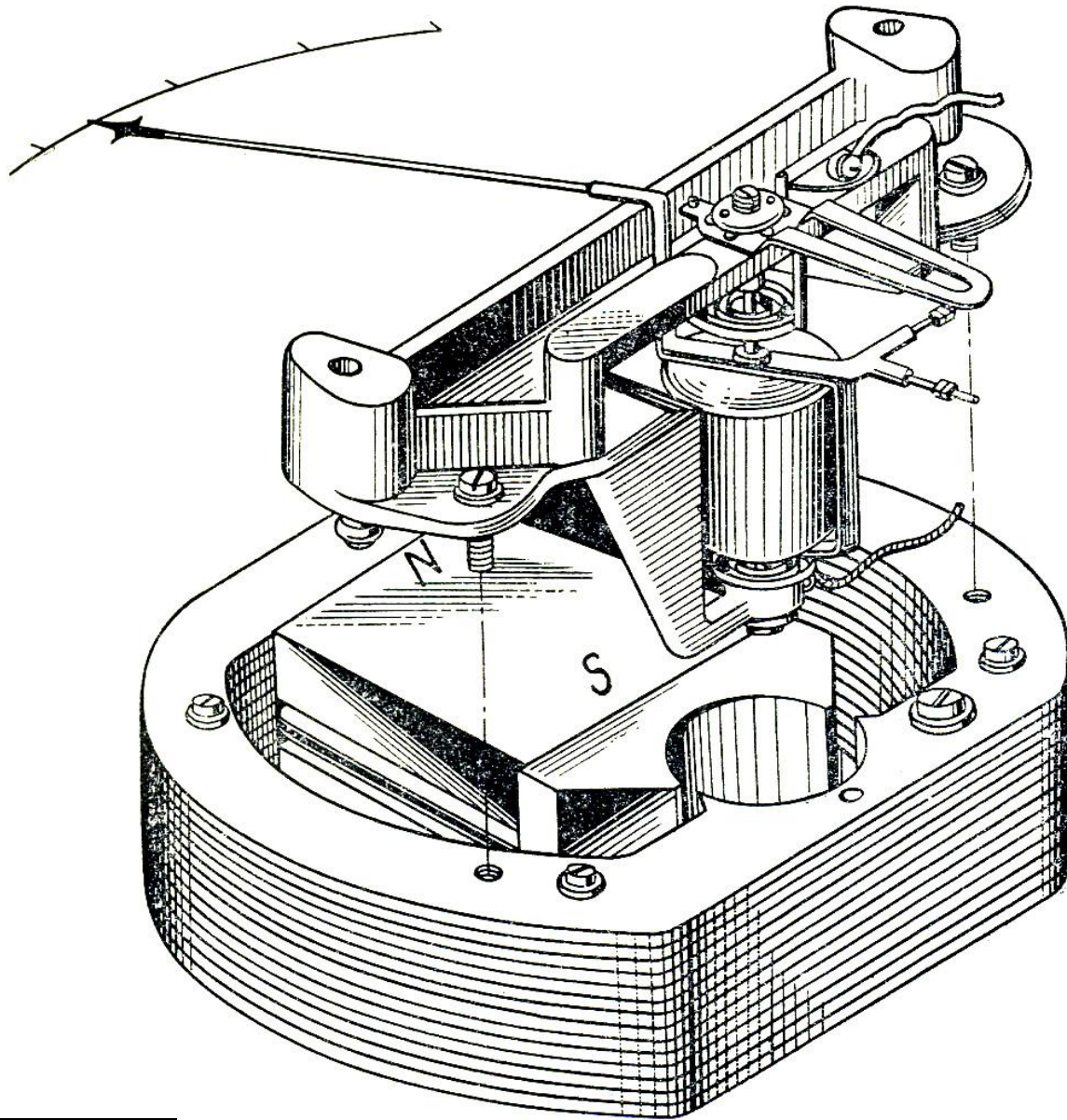
$$\alpha = \frac{BsnI}{W}$$

Угол  $\alpha$  прямо пропорционален току  $I$ , следовательно, шкала магнитоэлектрического прибора равномерна.

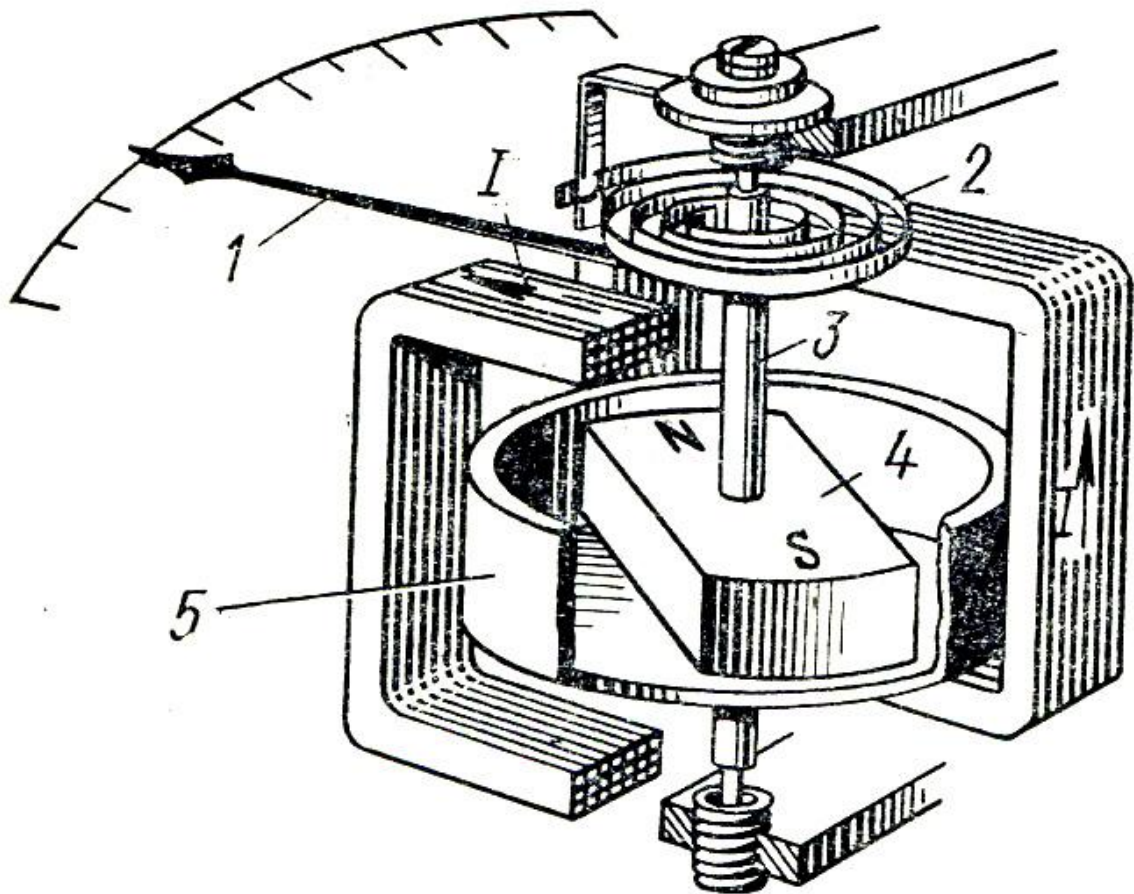
Чувствительность магнитоэлектрического ИМ:

$$S_I = \frac{\alpha}{I} = \frac{Bsn}{W}$$

При изменении направления тока меняется направление вращения подвижной части, т.е. прибор является полярно чувствительным.



Устройство магнитоэлектрических механизмов  
с подвижной рамкой



# Ограничение по частоте

- ▶ Если ток имеет синусоидальную форму, то мгновенный вращающий момент равен .

$$M_t = BsnI_m \sin \omega t$$

Работа механизма зависит от соотношения частоты тока  $\omega$  и частоты собственных колебаний  $\omega_0$  подвижной части механизма.

# Ограничение по частоте

У измерительных механизмов магнитоэлектрических приборов (амперметров и вольтметров) период собственных колебаний подвижной части составляет примерно 1с

( $\omega_0 = 6,28 \text{ с}^{-1}$ ). следовательно, отклонение подвижной части при частоте тока в катушке более 10 Гц практически равно 0. Поэтому приборы с таким измерительным механизмом применяют в цепях постоянного тока или при очень медленных изменениях тока.

# Применение магнитоэлектрического измерительного механизма

- ▶ На основе магнитоэлектрического ИМ созданы различные измерительные приборы:
  - приборы для измерения постоянных и переменных токов и напряжений,
  - омметры,
  - частотомеры,
  - фазометры.

ИМ также используется в электронных аналоговых вольтметрах

Наибольшее распространение получили приборы для измерения силы тока и напряжения.

# Измерение тока

В микро- и миллиамперметрах , предназначенных для измерения тока менее 30 мА, измерительная цепь состоит из катушки и пружин, через которые подводится ток к катушке. Сопротивление  $R_{им}$  цепи ИМ равно:

$$R_{ИМ} = R + R_{пр} ,$$

где  $R$  – сопротивление катушки;

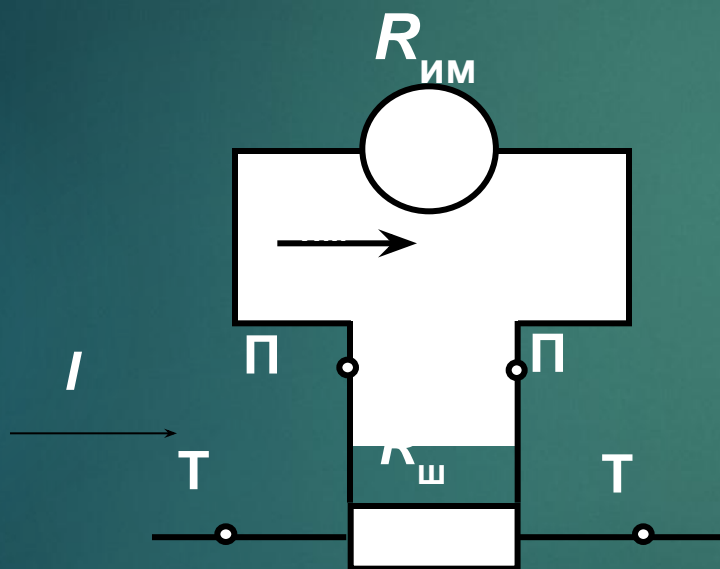
$R_{пр}$  – сопротивление пружинок.

# Использование шунта

- ▶ Значение тока полного отклонения  $I_{no}$  ограничено влиянием его теплового действия на упругие свойства пружинок. Для расширения пределов измерений используется **шунт**, обеспечивающий преобразование измеряемого тока в ток  $I_{им}$  через измерительный механизм, не превышающий ток полного отклонения  $I_{no}$ .



# Использование шунта



- ▶ Шунт имеет малое сопротивление, включаемое по четырех зажимной схеме (Т-Т – токовые зажимы, П-П - потенциальные)
- ▶ Значение сопротивления шунта определяется из условия:

$$I_{ИМ} \cdot R_{ИМ} = I_{Ш} \cdot R_{Ш}$$

# Использование шунта

- ▶ Если сопротивление шунта совместно с сопротивлением ИМ рассматривать как делитель тока с коэффициентом деления (шунтирования)
- ▶  $n = I / I_{ИМ}$ , то его сопротивление определится следующим выражением:

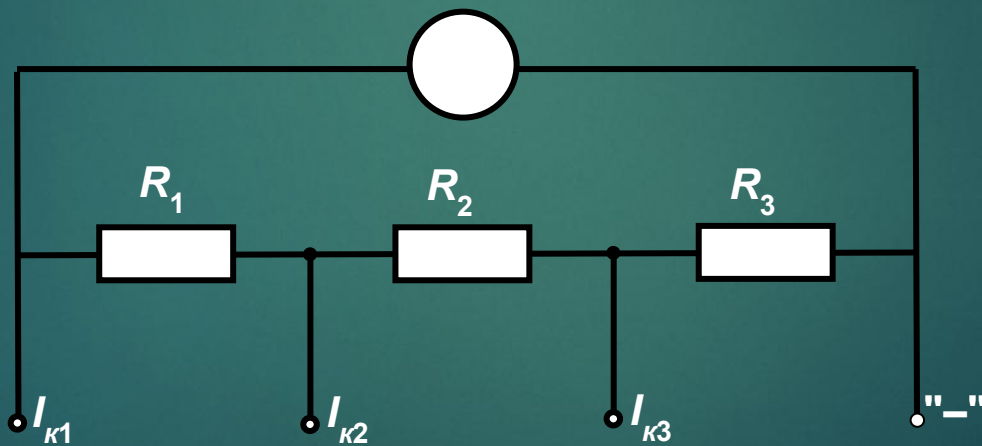
$$R_{Ш} = \frac{I_{ИМ} \cdot R_{ИМ}}{I_{Ш}} = \frac{I_{ИМ} \cdot R_{ИМ}}{I - I_{ИМ}} = \frac{R_{ИМ}}{n - 1}$$

# Шунт

- ▶ Шунт изготавливают из манганина — материала с малым температурным коэффициентом. Чем больше измеряемый ток, тем меньше сопротивление шунта.
- ▶ При токах более 1 А сопротивление шунта составляет сотые и тысячные доли Ома.

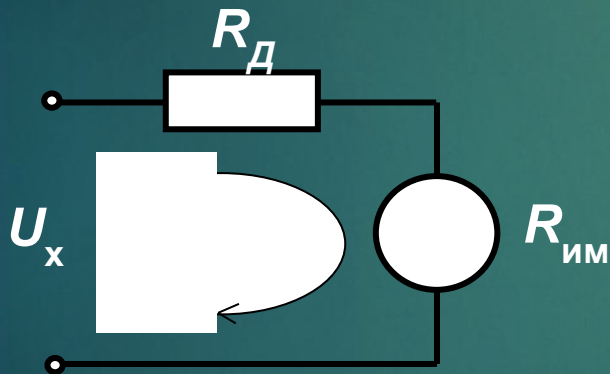
# Схема трёхпредельного амперметра

- ▶ Схема трёх предельного амперметра со ступенчатыми шунтами:



# Схема однопредельного вольтметра

- ▶ В магнитоэлектрических вольтметрах измеряемое напряжение  $U_x$  преобразуется в ток.



Цепь преобразования включает сопротивление измерительного механизма и добавочное сопротивление  $R_D$ . Вольтметр подключается параллельно к объекту измерения. Таким образом, сопротивление вольтметра  $R_V = R_{им} + R_D$ .

# Расчет добавочного сопротивления

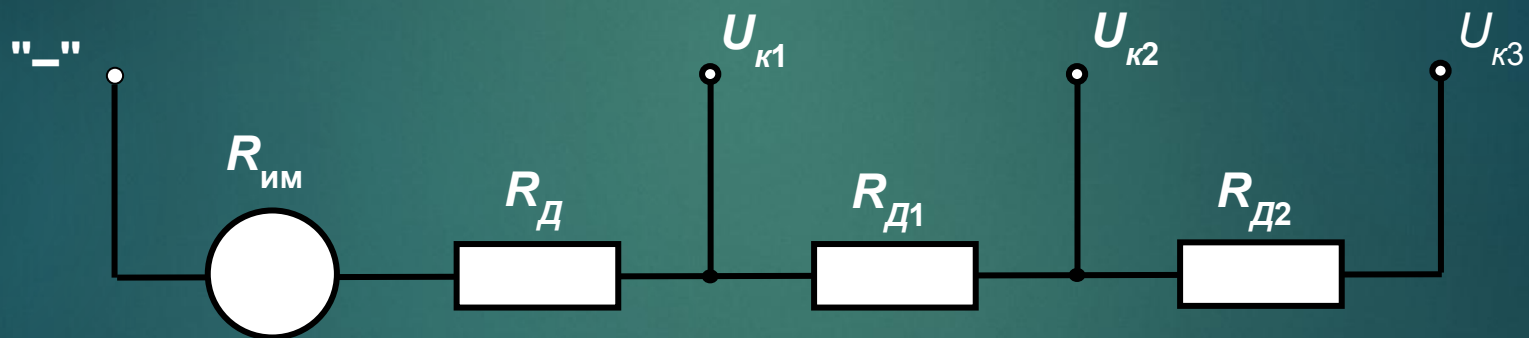
- ▶ Предел измерения  $U_k$  вольтметра зависит от тока полного отклонения  $I_{по}$  и внутреннего сопротивления  $R_V$ :

$$U_k = I_{по} (R_D + R_{им}).$$

- ▶ Откуда

$$R_D = \frac{U_k - I_{по} \cdot R_{им}}{I_{по}}$$

# Схема трехпредельного вольтметра



# Расширение диапазона измерений магнитоэлектрических вольтметров

- ▶ Добавочные сопротивления изготавливаются из манганинового провода.

Они могут быть внутренние (до 600 В) и наружные (до 1500 В).

Диапазон измерений магнитоэлектрических вольтметров от мкВ до 1500 В.



# Достоинства магнитоэлектрических приборов

**1 Высокая точность** (наилучший класс точности – **0,05**).

Высокая точность объясняется рядом причин:

- высокая стабильность элементов измерительного механизма;
- наличие равномерной шкалы уменьшает погрешность градуировки и отсчёта;
- внешние электрические поля на работу прибора практически не влияют;
- внешние магнитные поля незначительно влияют на показания, так как собственное поле достаточно сильное;
- температурные погрешности компенсируются с помощью специальных схем.

# Достоинства магнитоэлектрических приборов

- ▶ **2 Малое собственное потребление мощности (мВт).**

Следовательно, эти приборы оказывают малое влияние при подключении к объекту измерения.

- ▶ **3 Высокая чувствительность.**

Известны микроамперметры с током полного отклонения  $0,1 \text{ мкА}$ .



- невысокая перегрузочная способность (при перегрузке перегорают токоподводящие пружинки);
- их можно применять только для измерений в цепях постоянного или медленно меняющегося тока ( $<1$  Гц)

## Технические характеристики прибора М 2044

Диапазоны измеряемых постоянных напряжений	0 – 15 мВ / 30 мВ / 75 мВ / 0,15 В / 0,3 В / 0,75 В / 1,5 В / 3 В / 7,5 В / 15 В / 30 В / 75 В / 150 В / 300 В / 600 В
Диапазоны измеряемых постоянных токов	0 – 75 мА / 150 мА / 300 мА / 0,75 А / 1,5 А / 3 А / 7,5 А / 15 А / 30 А
Класс точности (предел основной приведенной погрешности)	0,2 %
Шкала прибора	Равномерная, зеркальная, число делений 150, длина 150 мм
Габаритные размеры, мм	243 × 200 × 100