

КАФЕДРА МЕТРОЛОГИИ И СИСТЕМ КАЧЕСТВА

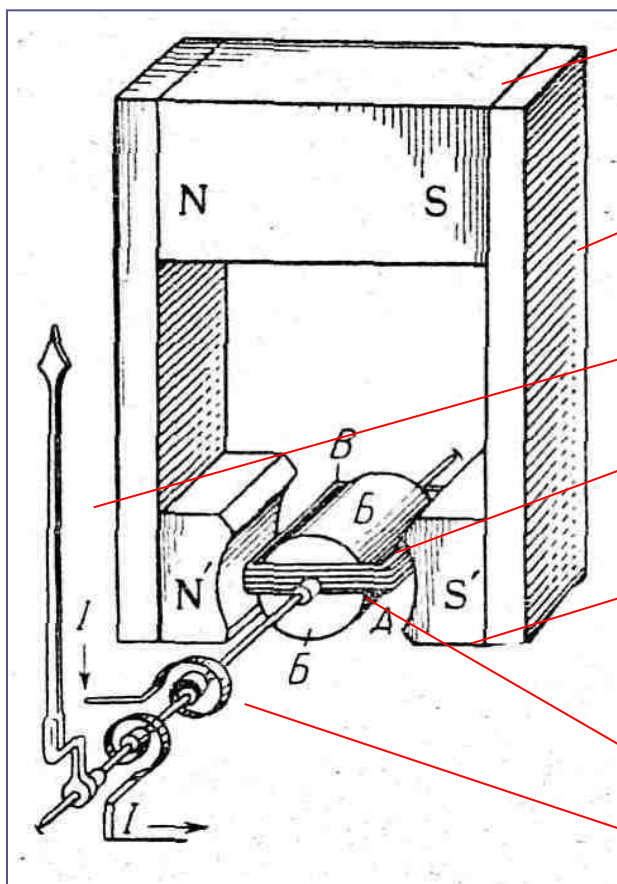
Лекция 8

Магнитоэлектрические приборы

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

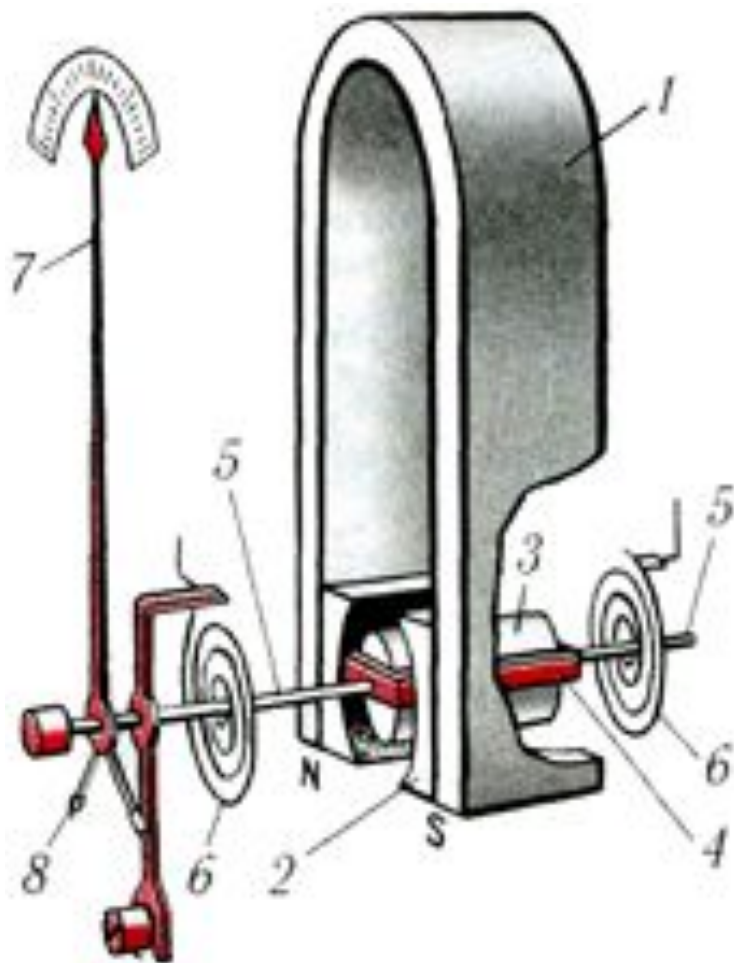
3 – указатель

4 – неподвижный сердечник цилиндрической формы

5 – полюсные наконечники

6 – подвижная катушка

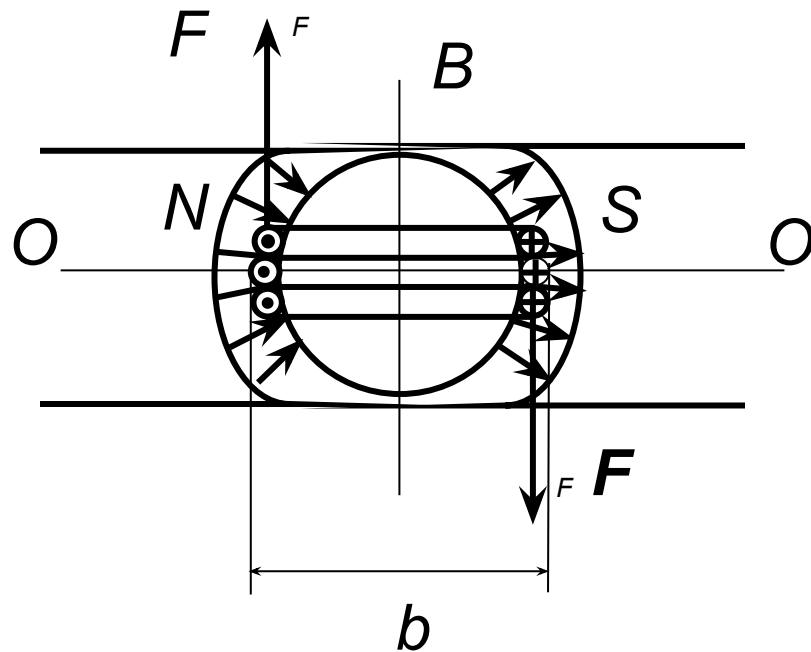
7 – спиральная пружина



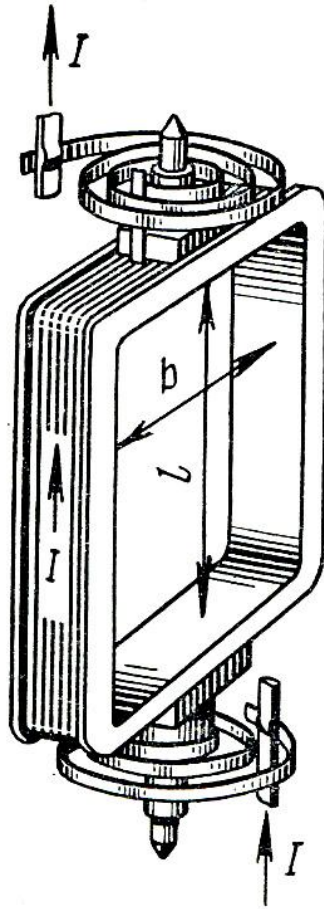
В зазоре между полюсными наконечниками и сердечником устанавливается рамка. Ее полуоси вставляются в стеклянные или агатовые подшипники.

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 α . 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 α 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
магнитоэлектриче-
ского измеритель-
ного 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.

Установившееся положение

- Противодействующий момент создается спиральными пружинами и равен:

$$M_{np} = W\alpha$$

где W – удельный противодействующий момент;

α – угол поворота подвижной части ИМ.

- При равенстве $M_{вр} = M_{np}$ подвижная часть ИМ занимает установившееся положение. При этом:

$$BsnI = W\alpha$$

Из последнего выражения получают зависимость α от тока, протекающего по катушке, называемое уравнением шкалы.

Уравнение шкалы

- Уравнение шкалы магнитоэлектрического измерительного прибора:

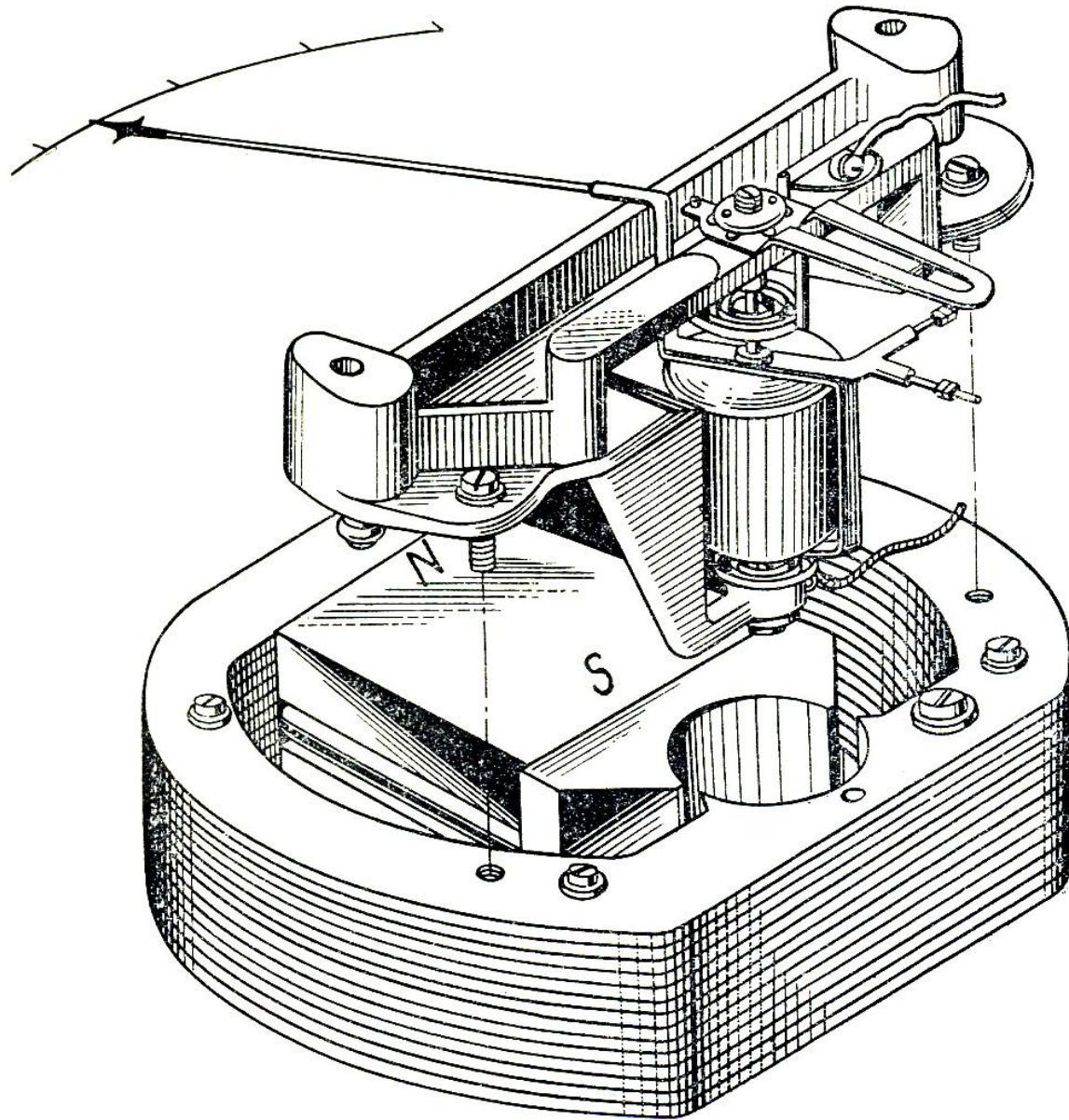
$$\alpha = \frac{BsnI}{W}$$

Угол α прямо пропорционален току I , следовательно, шкала магнитоэлектрического прибора равномерна.

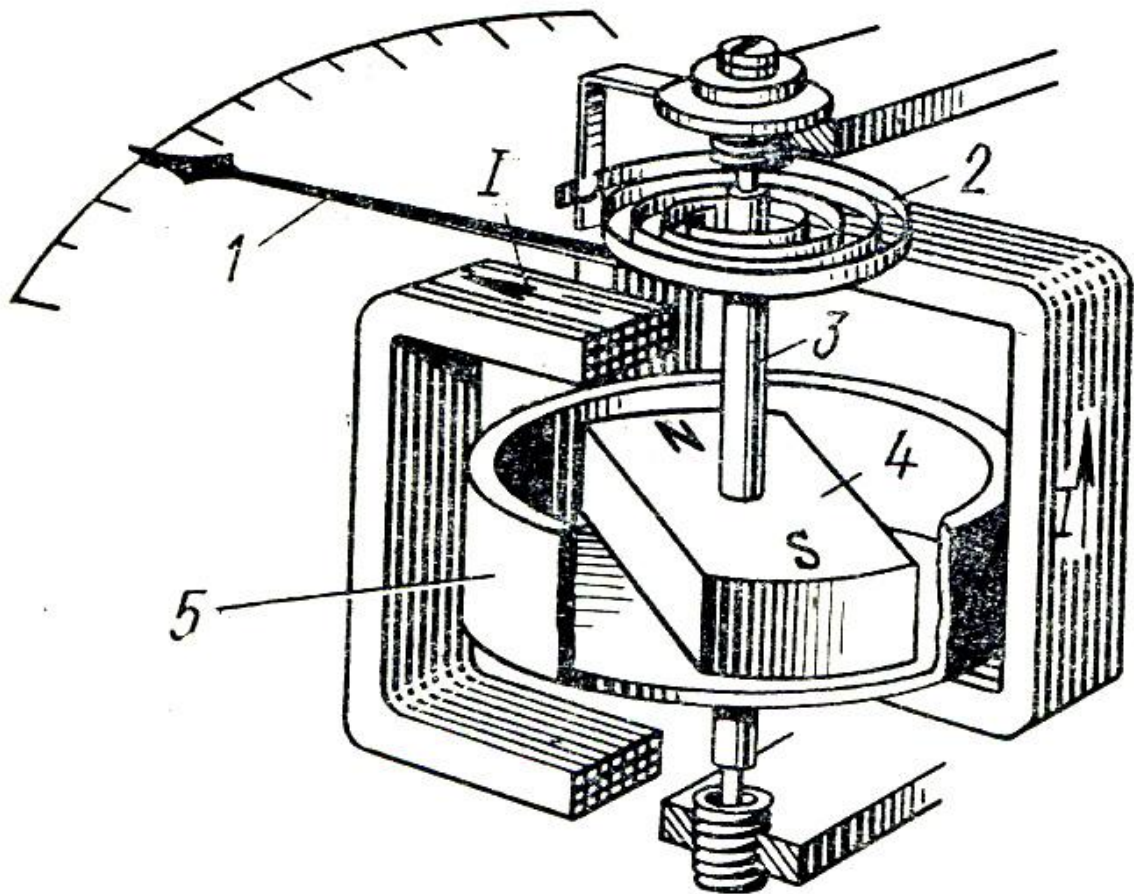
Чувствительность магнитоэлектрического ИМ:

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

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 ω и частоты собственных колебаний ω_0 подвижной части механизма.

Ограничение по частоте

У измерительных механизмов магнитоэлектрических приборов (амперметров и вольтметров) период собственных колебаний подвижной части составляет примерно 1 с ($\omega_0 = 6,28 \text{ с}^{-1}$). 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:

$$R_{ИМ} = R + R_{пр} ,$$

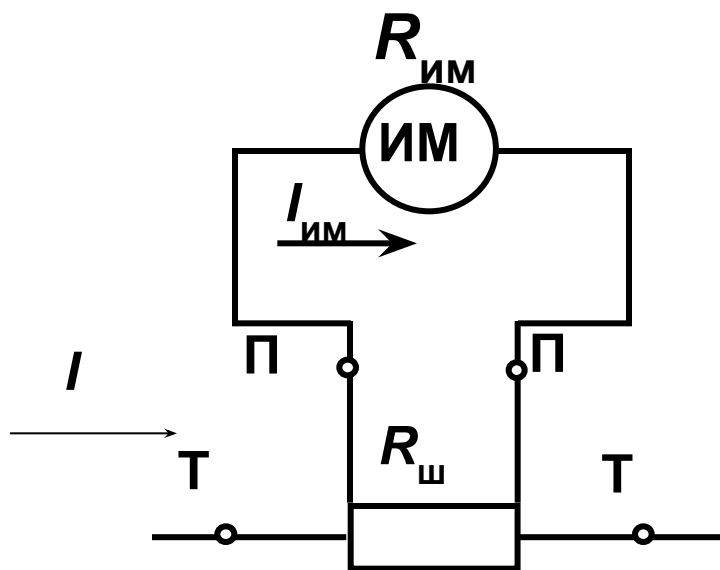
где R – сопротивление катушки;

$R_{пр}$ – 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 1А сопротивление шунта составляет сотые и тысячные доли Ома.

Схема трёхпредельного амперметра

- Схема трёх предельного амперметра со ступенчатыми шунтами:

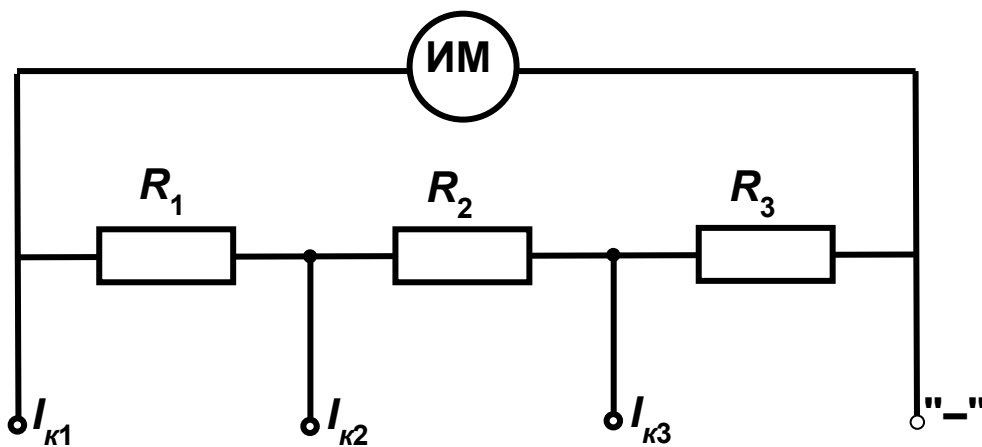
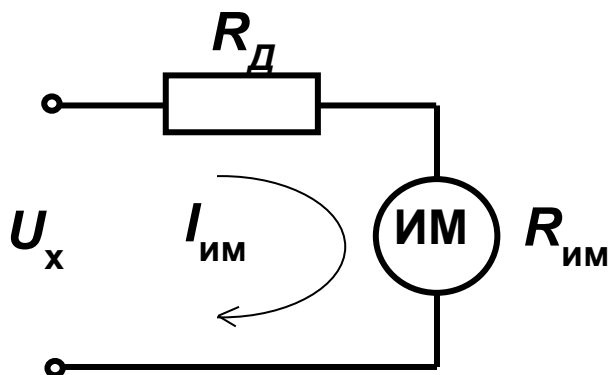


Схема однопредельного вольтметра

- 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

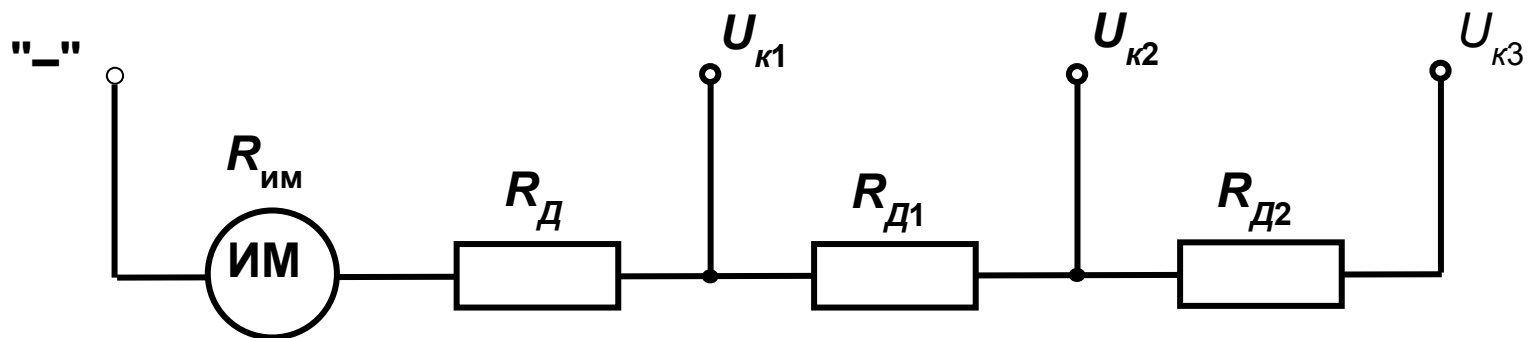
- Предел измерения U_k вольтметра зависит от тока полного отклонения $I_{по}$ и внутреннего сопротивления R_V :

$$U_k = I_{по} (R_D + R_{им}).$$

- 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 $0,1 \text{ мкА}$.

Недостатки магнитоэлектрических приборов

- 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