Аналоговые электроизмерительные устройства

Аналоговые электроизмерительные устройства – средства электрических измерений, предназначенные для выработки сигналов измерительной информации, являющихся непрерывными функциями измеряемых физических величин, в форме доступной для непосредственного восприятия наблюдателем

Классификация аналоговых электроизмерительных устройств

По измеряемой или воспроизводимой физической величине:

- 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

…

По назначению:

- измерительные приборы;
- меры;
- измерительные преобразователи;
- измерительные установки и системы

По способу представления результатов измерений:

- показывающие;
- регистрирующие

Классификация аналоговых электроизмерительных устройств

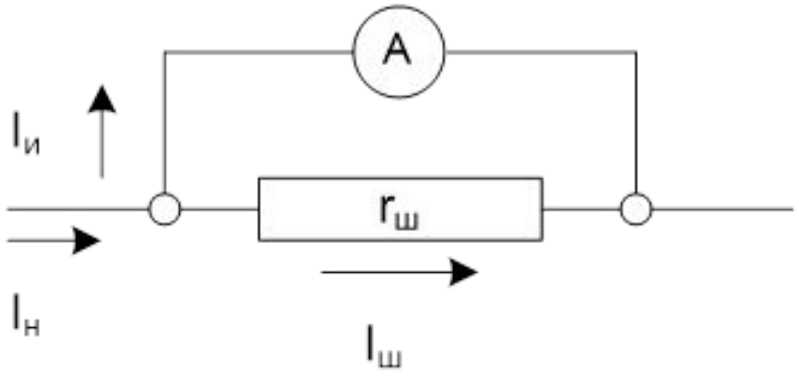
По методу измерения:

- приборы непосредственной оценки;
- приборы сравнения

По принципу действия:

- электромеханические:
  - магнитоэлектрические;
  - электромагнитные;
  - электродинамические;
  - электростатические;
  - ферродинамические;
  - индукционные;
  - магнитодинамические;
- электронные;
- термоэлектрические;
- электрохимические

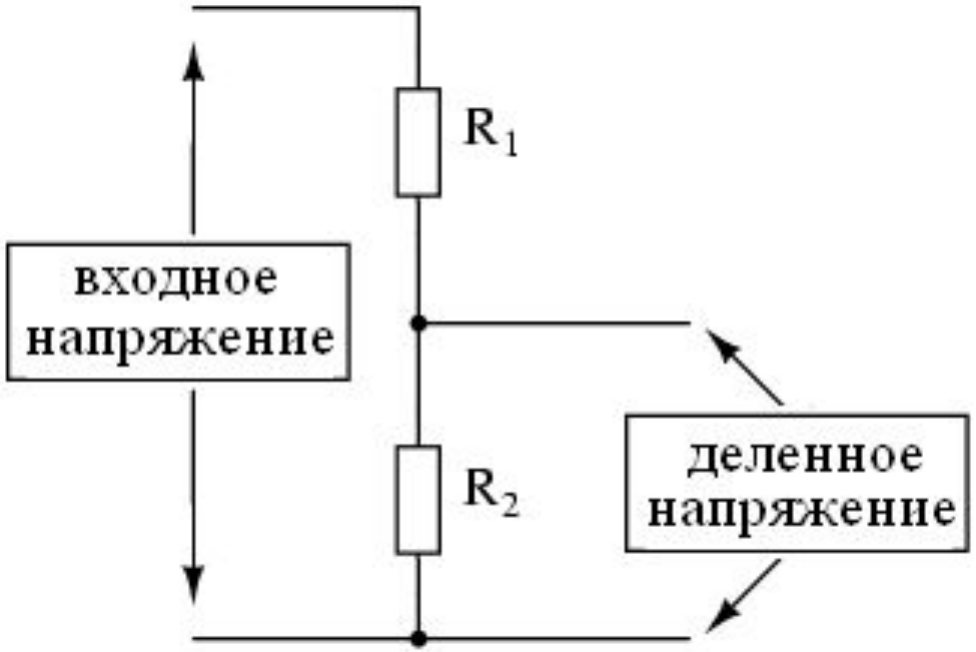
Токовые шунты



$$\frac{I_ш}{I_и} = \frac{R_ш}{R_A}$$

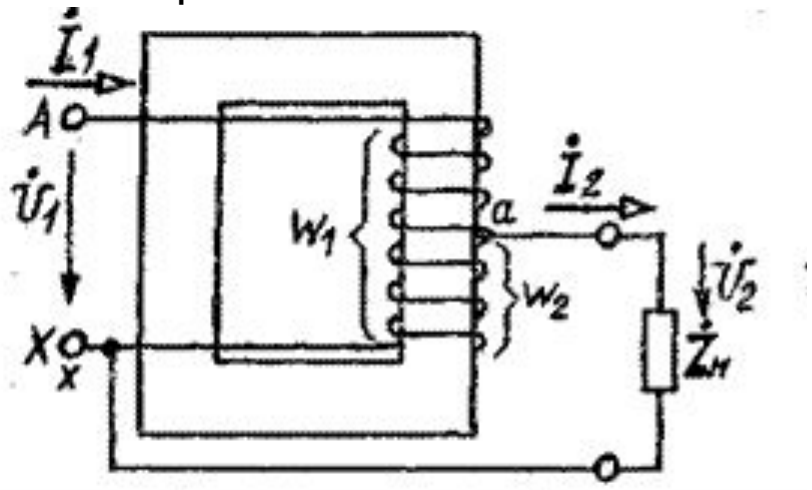
$$I_н = I_и\left(1 + \frac{R_и}{R_A}\right) = nI_и$$

Делители напряжения

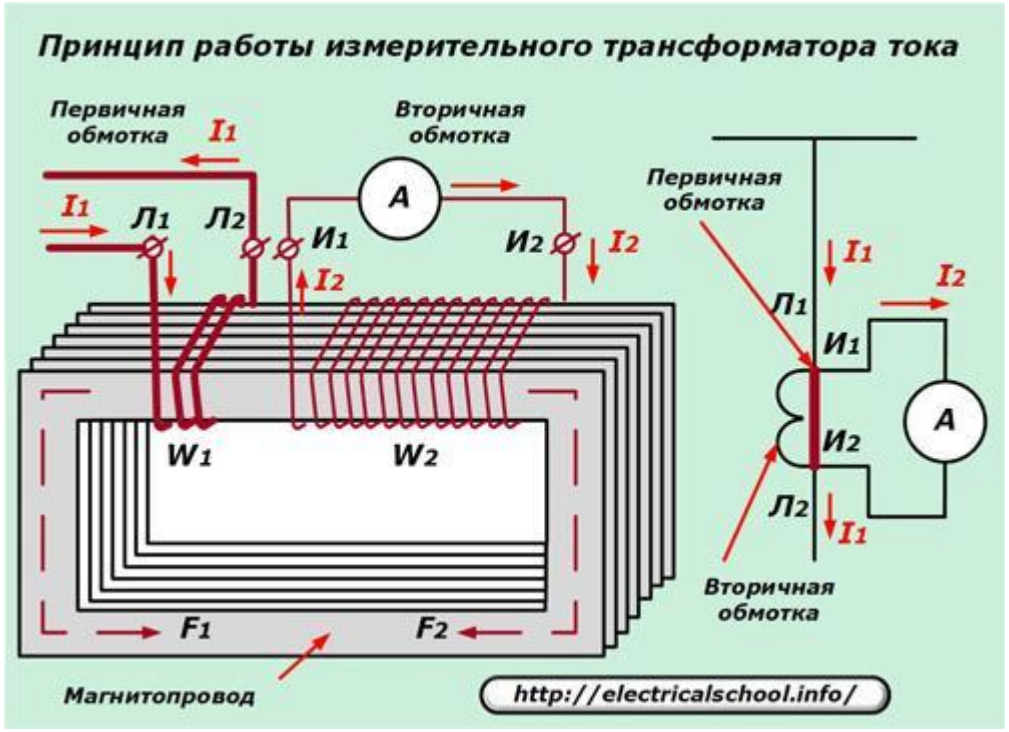


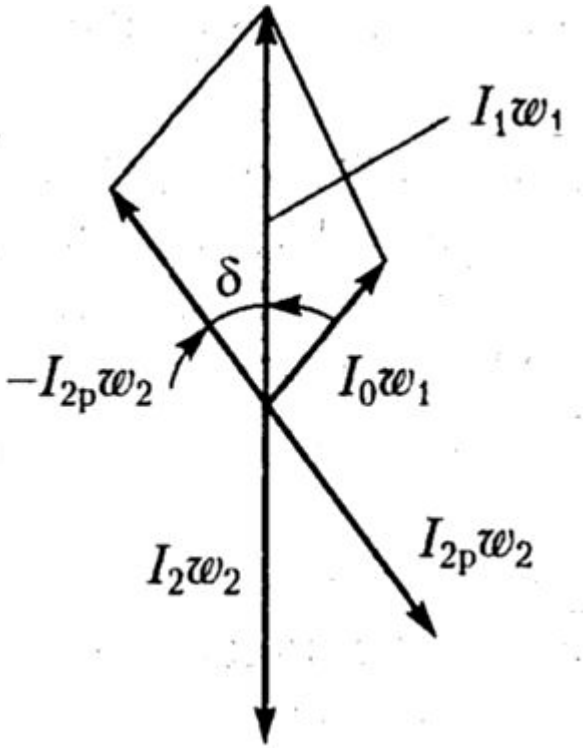
$$U_{вх} = U_2 \frac{Z_1 + Z_2}{Z_2} = K_д U_2$$

Автотрансформатор



Измерительные трансформаторы тока





Идеальный трансформатор

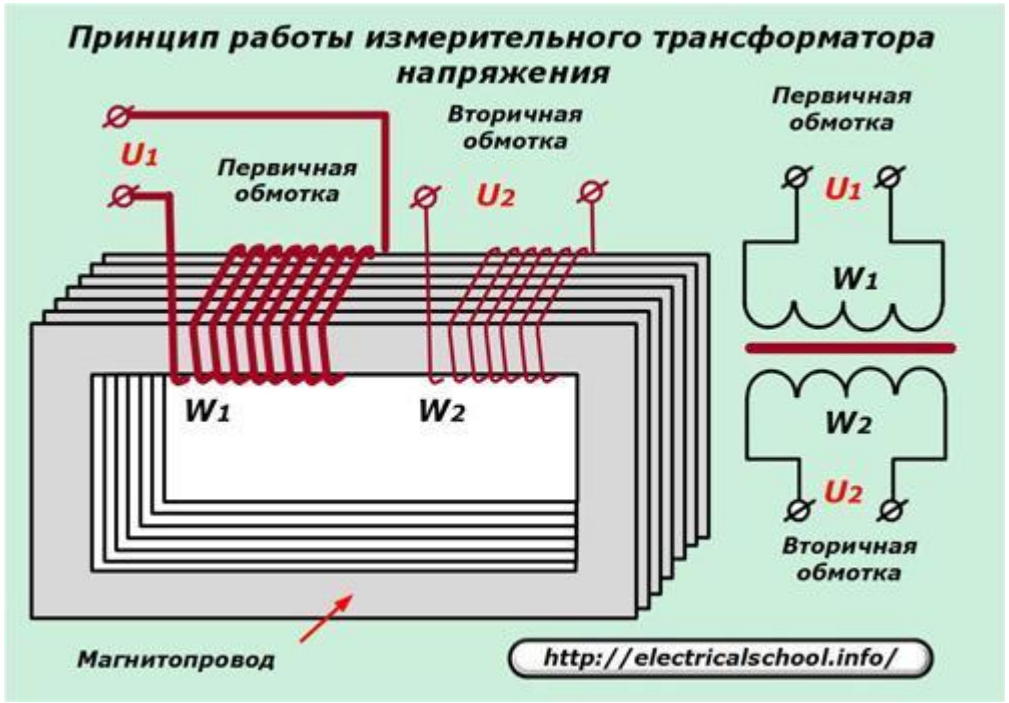
$$I_1 w_1 = I_2 w_2$$

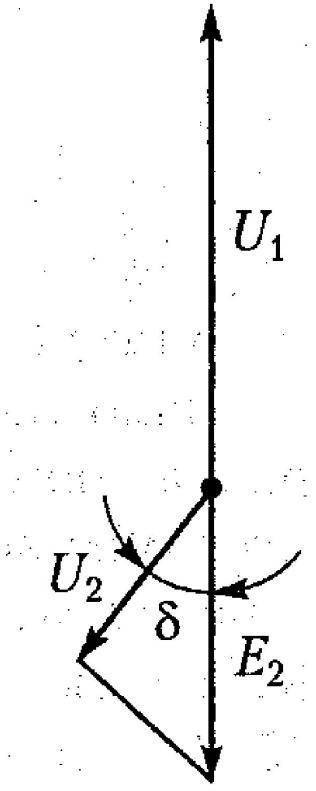
$$K_{I_и} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{w_2}{w_1}$$

Реальный трансформатор

$$\gamma_I = \frac{K_{I_и} I_{2р} - I_1}{I_1}$$

Измерительные трансформаторы напряжения





Идеальный трансформатор

$$K_U = \frac{U_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2}$$

Реальный трансформатор

$$\gamma_U = \frac{K_U U_2 - U_1}{U_1}$$

Измерительные усилители

Пределы измерения: от 10^{-10} В и $3 \cdot 10^{-13}$ А

Частотный диапазон:

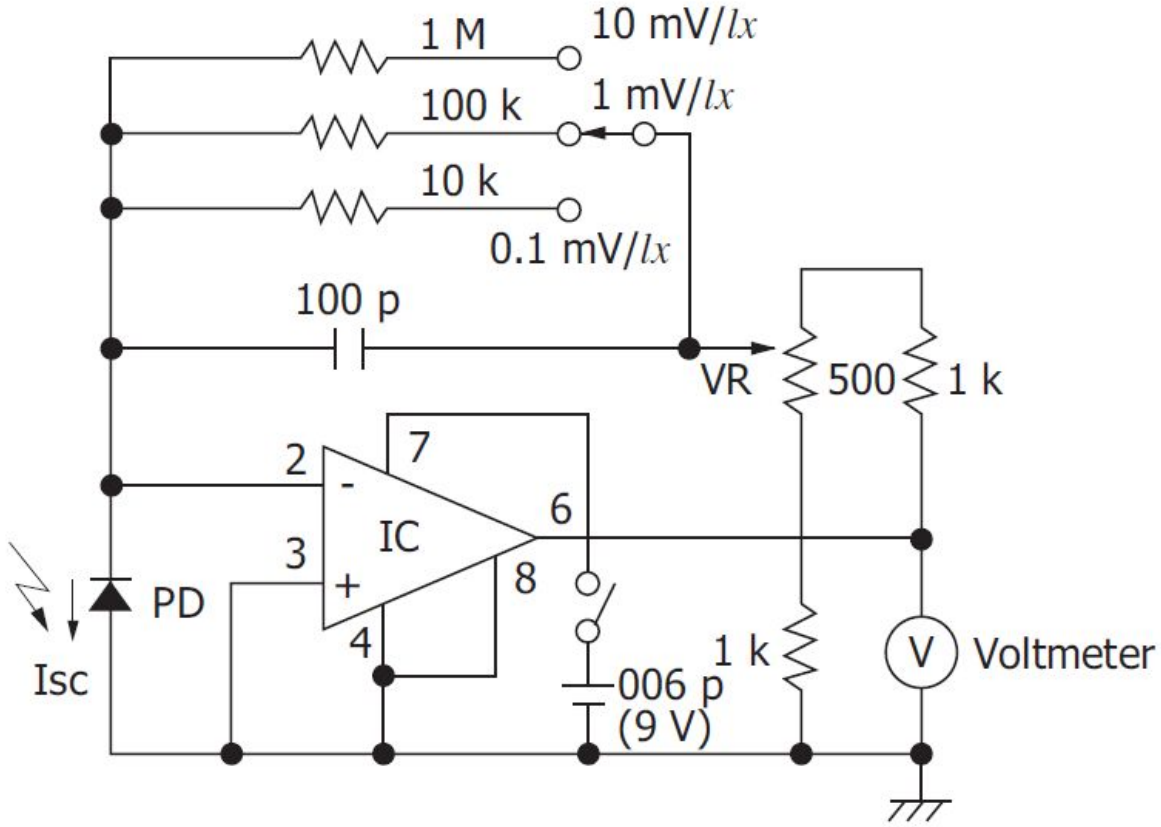
- усилители постоянного тока;
- низкочастотные (20 Гц – 200 кГц);
- высокочастотные (до 250 МГц);
- узкополосные усилители

Унифицированный номинальный выходной сигнал, как правило, 10 В или 5 мА

Погрешность от 0,1 до 3 и даже до 10 %

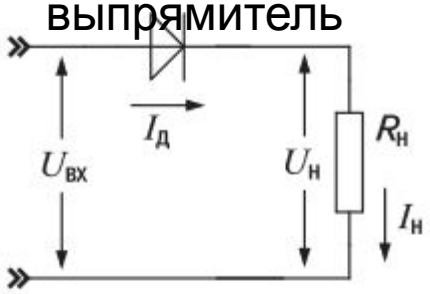
Преобразователи тока в напряжение

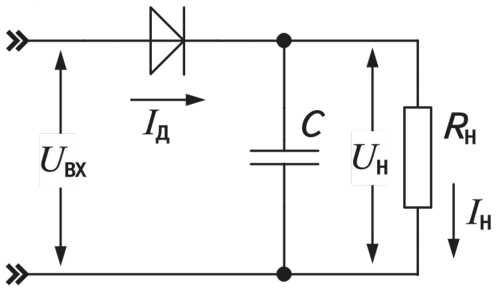
Схема усиления сигнала кремниевого фотодиода на операционном усилителя

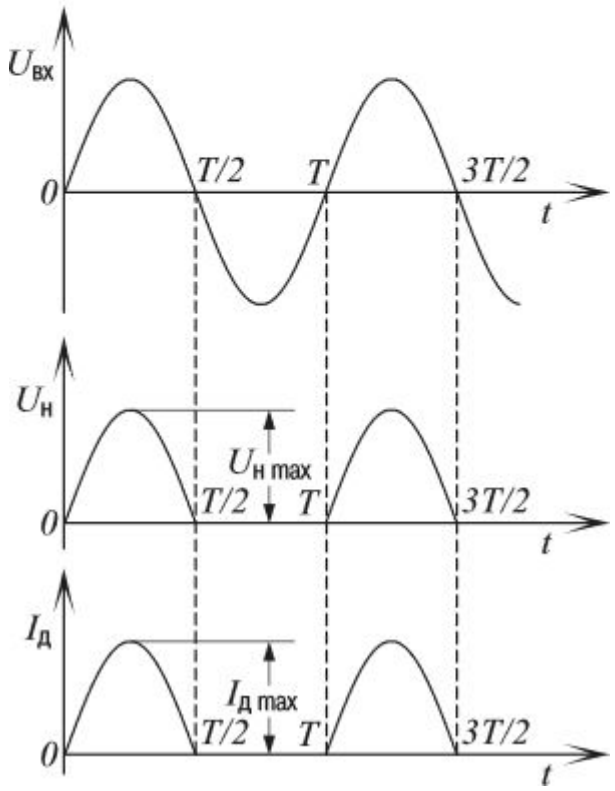


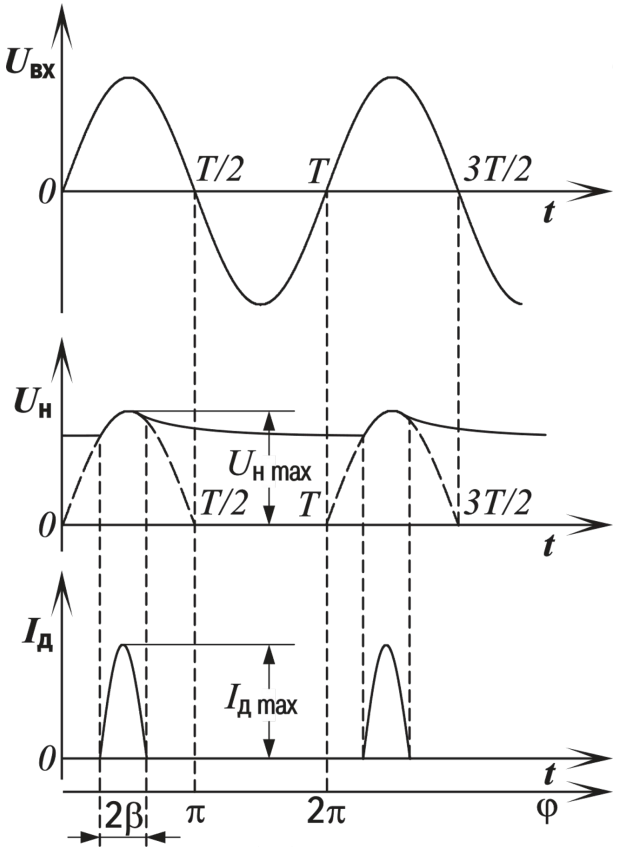
Преобразователи переменного напряжения в постоянное

Однофазный однополупериодный выпрямитель

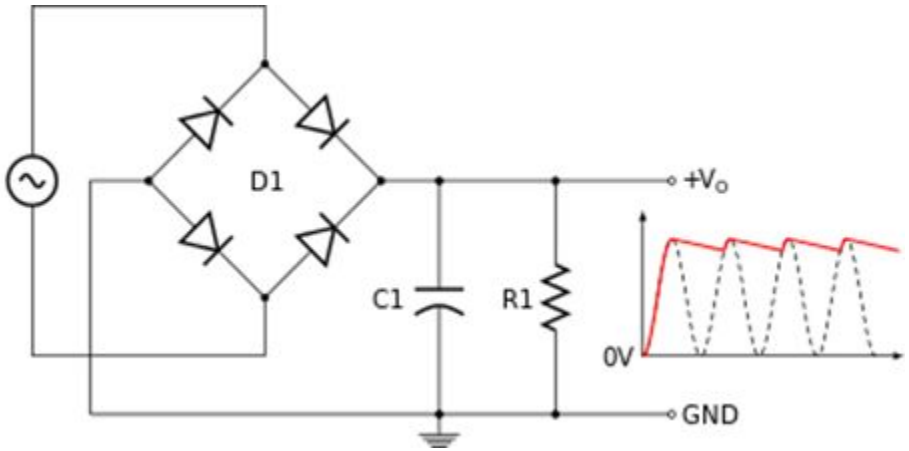






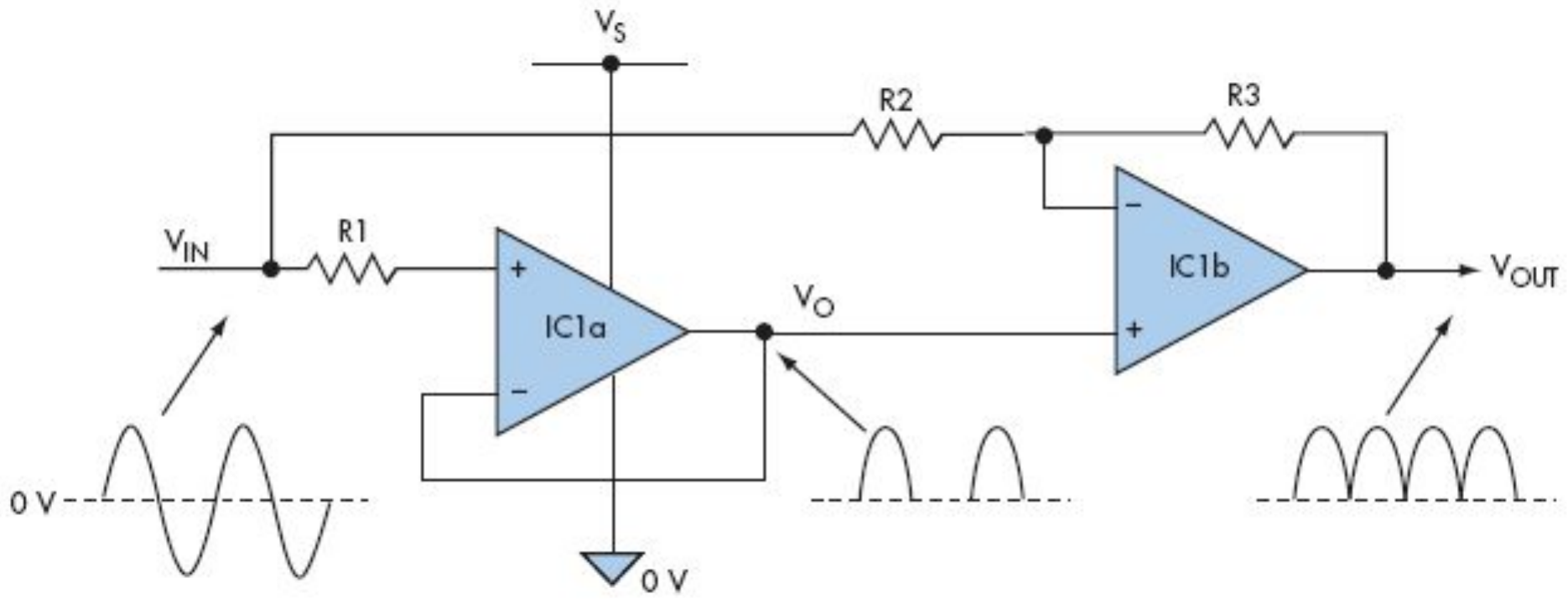


Однофазный двухполупериодный выпрямитель



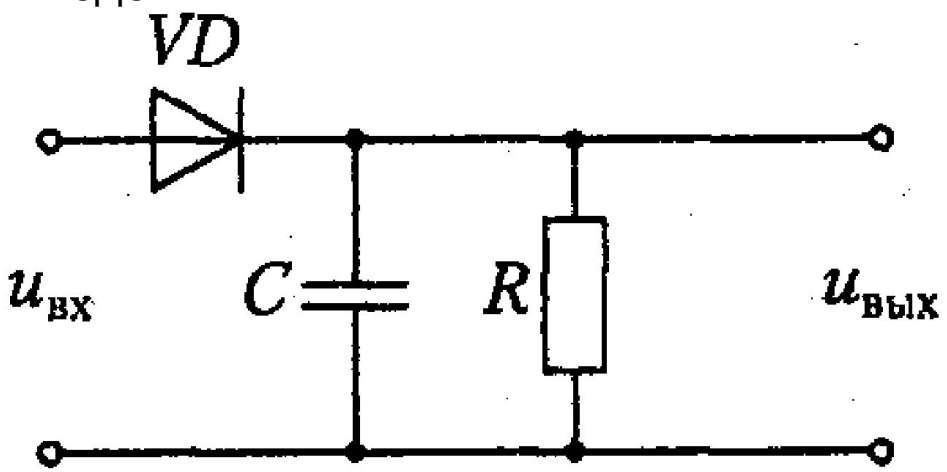
Преобразователи переменного напряжения в постоянное

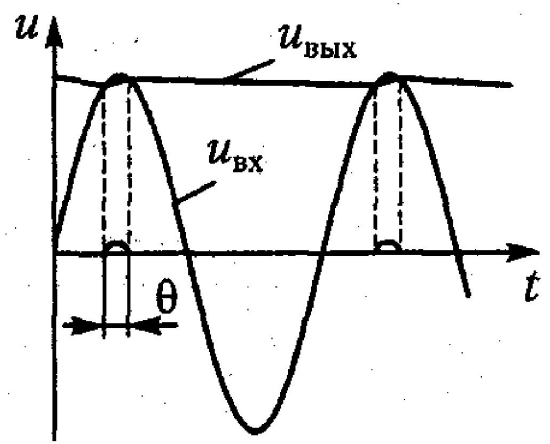
Однофазный двухполупериодный выпрямитель на операционных усилителях



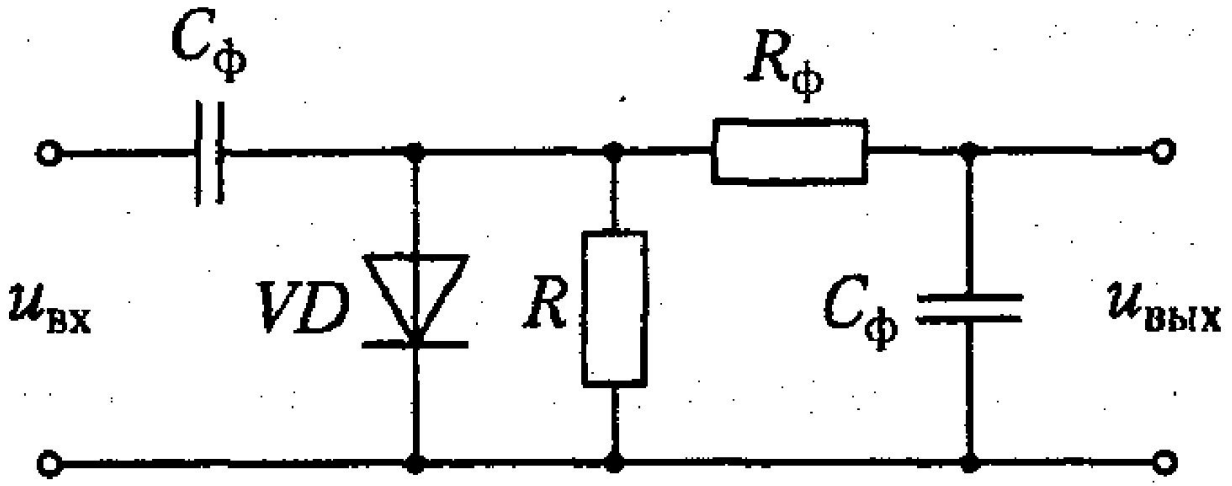
Амплитудный детектор

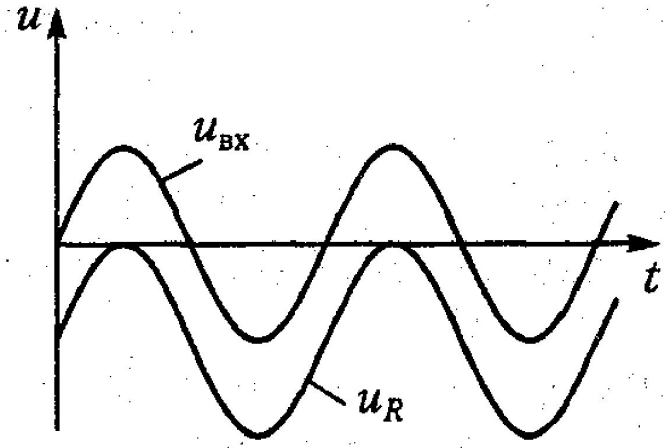
Амплитудный детектор с открытым входом





Амплитудный детектор с закрытым





Измерительные электромеханические преобразователи

$$J\frac{d^2\alpha}{dt^2} = M_{\text{вр}} + M_{\text{пр}} + M_{\text{усп}}$$

$J\frac{d^2\alpha}{dt^2}$ – момент сил инерции;

J – момент инерции подвижной части;

α – угол поворота;

$M_{\text{вр}} = \frac{dW_{\text{эм}}}{d\alpha}$ – вращающий момент;

$M_{\text{пр}}$ – противодействующий момент,

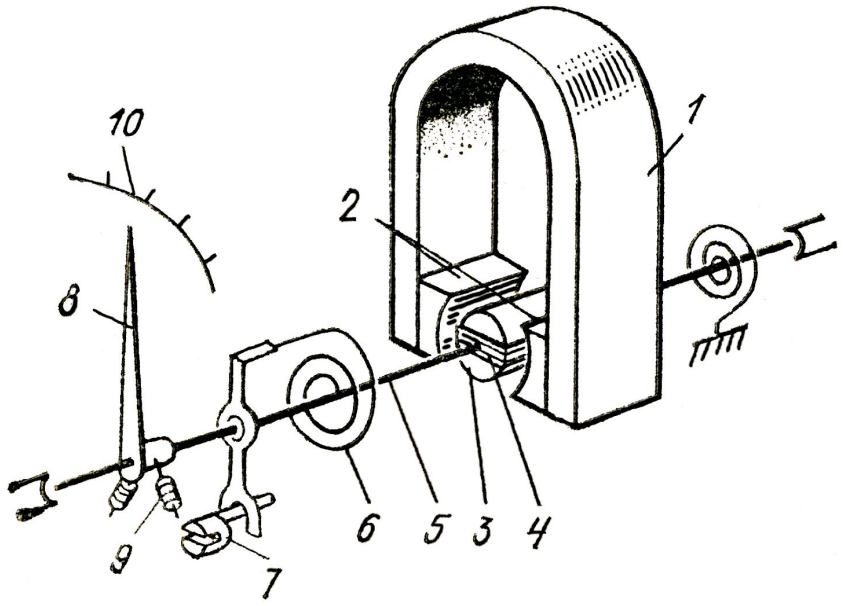
$M_{\text{пр}} = -W\alpha$

W – удельный противодействующий момент упругого элемента для механических устройств;

$M_{\text{усп}} = -P\frac{d\alpha}{dt}$ – момент успокоения,

P – коэффициент успокоения

Магнитоэлектрические измерительные преобразователи



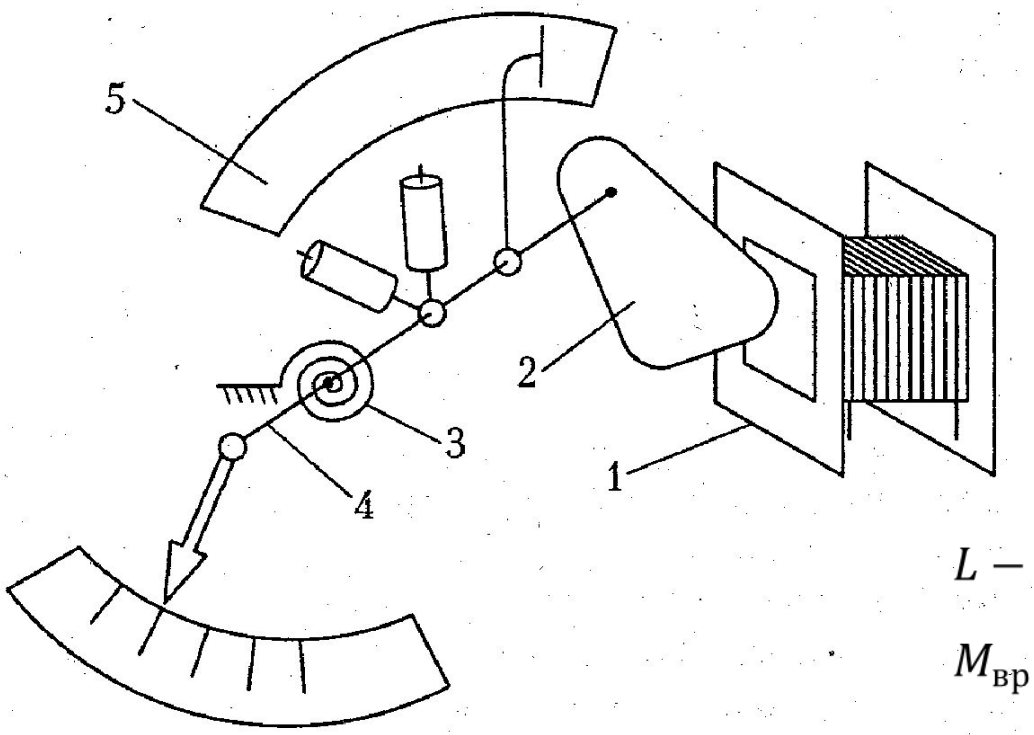
1. Магнит
2. Полюсные наконечники из магнитно-мягкого материала
3. Неподвижный цилиндр из магнитно-мягкого материала
4. Подвижная рамка
5. Полуоси или растяжки
6. Токоведущие спиральные пружины
7. Установщик «0»
8. Указатель-стрелка
9. Балансир
10. Шкала

$$M_{\text{вр}} = F_{\text{эм}} d = BlIwd = BldwI$$

$F_{\text{эм}}$ – электромагнитная сила;
B – магнитная индукция;
I – ток;
d, l – ширина и длина рамки;
w – число витков

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

Электромагнитные измерительные преобразователи



1. Катушка
2. Ферромагнитный сердечник
3. Пружина
4. Ось
5. Успокоитель

$$M_{\text{вр}t} = \frac{dW_{\text{эм}}}{d\alpha} = \frac{d}{d\alpha}\left(\frac{Li^2}{2}\right) = \frac{i^2}{2}\frac{dL}{d\alpha}$$

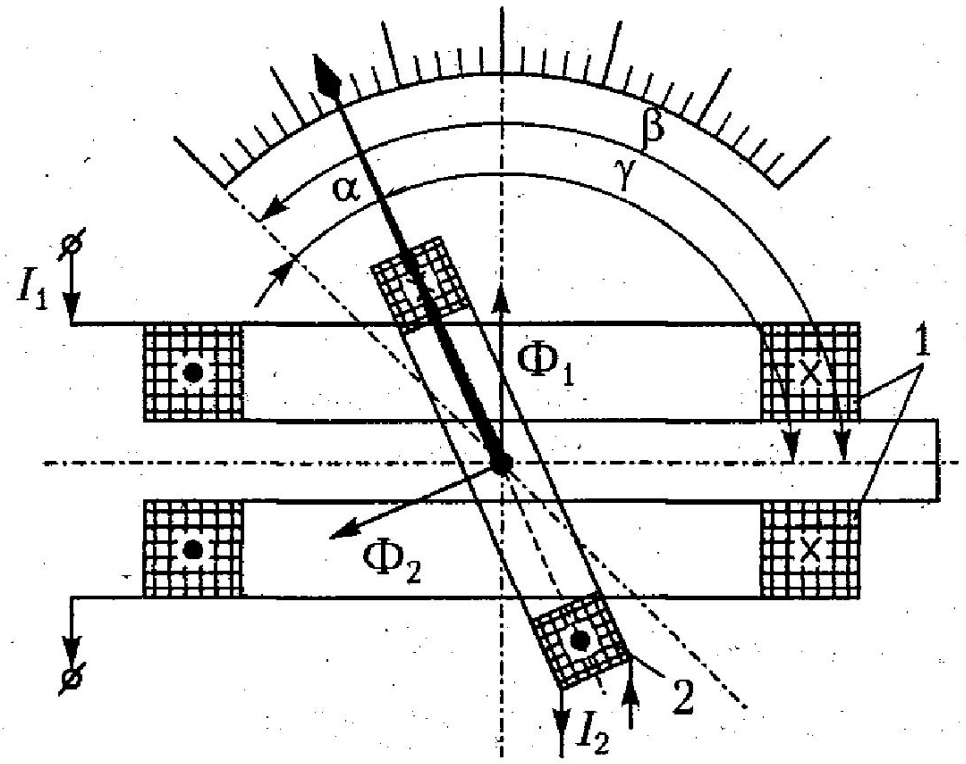
$L -$ индуктивность катушки

$$M_{\text{вр}} = \frac{I^2}{2}\frac{dL}{d\alpha} - \text{для постоянного тока}$$

$$M_{\text{вр}} = \frac{dL}{d\alpha}\frac{1}{T}\int_0^T (I_{max}\sin\omega t)^2 dt = \frac{I^2}{2}\frac{dL}{d\alpha} - \text{для переменного тока}$$

$$\alpha = \frac{I^2}{2W}\frac{dL}{d\alpha}$$

Электродинамические измерительные преобразователи



1. Неподвижные катушки
2. Подвижная катушка

$$W_{эм} = \frac{L_1 i_1^2}{2} + \frac{L_2 i_2^2}{2} + L_{12} i_1 i_2$$

L_{12} – взаимная индуктивность катушек

$$M_{врt} = \frac{dW_{эм}}{d\alpha} = \frac{dL_{12}}{d\alpha} i_1 i_2$$

Постоянный ток

$$M_{вр} = \frac{dL_{12}}{d\alpha} I_1 I_2$$

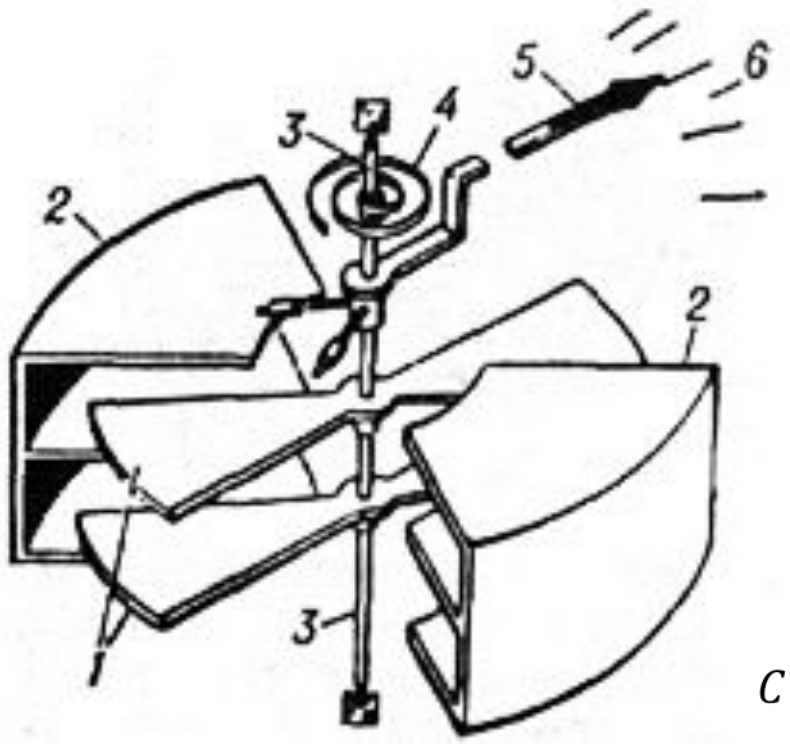
$$\alpha = \frac{I_1 I_2}{W} \frac{dL_{12}}{d\alpha}$$

Переменный ток

$$M_{вр} = \frac{dL_{12}}{d\alpha} \frac{1}{T} \int_0^T I_{max1} \sin \omega t I_{max2} \sin(\omega t - \varphi) dt = \frac{dL_{12}}{d\alpha} I_1 I_2 \cos \varphi$$

$$\alpha = \frac{I_1 I_2}{W} \frac{dL_{12}}{d\alpha} \cos \varphi$$

Электростатические измерительные преобразователи



1. Подвижные пластины
2. Неподвижные камеры
3. Подвижная ось
4. Пружина
5. Стрелка
6. Шкала

$$M_{\text{вр}t} = \frac{dW_э}{d\alpha} = \frac{d}{d\alpha}\left(\frac{Cu^2}{2}\right) = \frac{u^2}{2}\frac{dC}{d\alpha}$$

$C -$ электрическая емкость

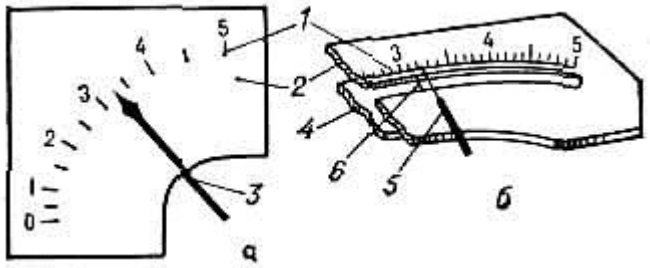
$$M_{\text{вр}} = \frac{U^2}{2}\frac{dC}{d\alpha}_T - \text{для постоянного напряжения}$$

$$M_{\text{вр}} = \frac{dC}{d\alpha}\frac{1}{T}\int_0 (U_{max}\sin\omega t)^2 dt = \frac{U^2}{2}\frac{dC}{d\alpha} - \text{для переменного напряжения}$$

$$\alpha = \frac{U^2}{2W}\frac{dC}{d\alpha}$$

Отсчетные устройства

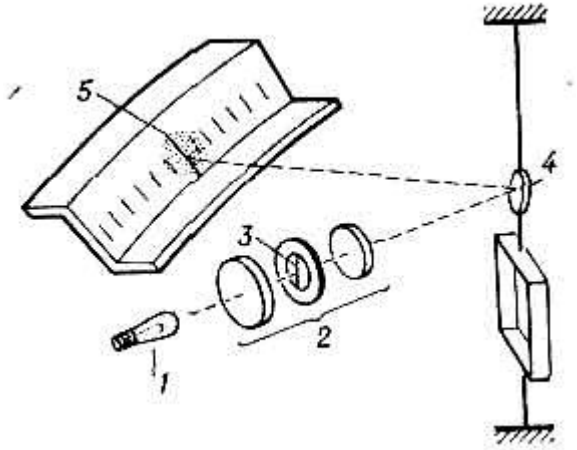
Стрелочные отсчётные устройства



а — щитовой прибор
б — переносный прибор

1. Шкала
2. Основание шкалы (пластина)
3. Копьевидная стрелка
4. Зеркало
5. Ножевидная стрелка
6. Изображение стрелки в зеркале

Световые отсчётные устройства



1. Источник света
2. Оптическое устройство
3. Указатель, имеющий вид нити или стрелки
4. Зеркало, укреплённое на подвижной части измерительного механизма
5. Шкала с проецируемым на неё изображением нити

Счетчики