

## **Метрологія, стандартизація та підтвердження відповідності електронної апаратури**

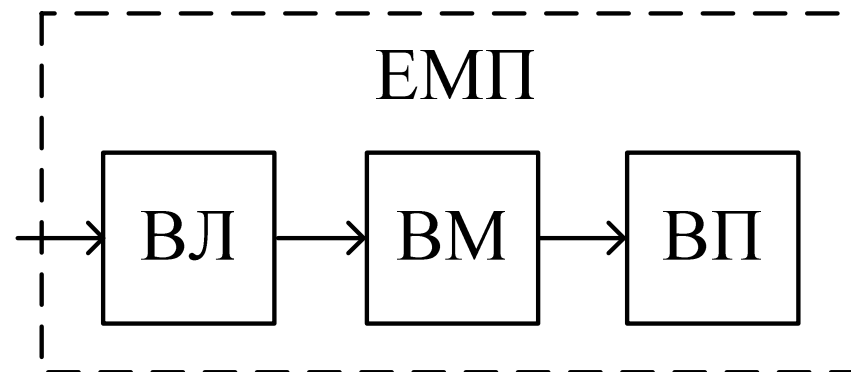
# **Електромеханічні вольтметри та амперметри**

## Загальні положення

Електромеханічні амперметри та вольтметри є приладами прямого перетворення, в яких електрична вимірювана величина безпосередньо перетворюється у покази відлікового пристрою.

**Структурна схема електромеханічного прилада (ЕМП) містить:**

- **вимірювальну ланку (ВЛ)**, у якій вхідний сигнал  $X$  перетворюється на проміжний електричний сигнал  $Y$ , а також забезпечується розширення діапазону вимірювання фізичної величини;
- **вимірювальний механізм (ВМ)**, у якому проміжний електричний сигнал перетворюється у механічну енергію, наприклад, поворот рухомої частини ВМ на певний кут;
- **відліковий пристрій (ВП)**, що зазвичай складається з відлікової шкали та стрілки (показчика) і слугує для візуального відліку значення вимірювальної величини.



## Загальні положення

**Відліковий пристрій** – пристрій, призначений для зчитування значення вимірюваної величини.

Відліковий пристрій *аналогового* вимірювального прилада складається зі шкали та вказівника.

Відліковий пристрій *цифрового* вимірювального прилада характеризують кількістю десяткових розрядів і ціною одиниці молодшого розряду.

Шкалу, написи та знаки наносять на основу шкали, яка називається циферблатом. Залежно від конструкції електромеханічні прилади поділяють на прилади із стрілочним або світловим покажчиком. Стрілочні прилади простіші за конструкцією, але менш чутливі та точні у відліку. Прилади із світловими покажчиками чутливіші та точніші завдяки більшій довжині світлового променя, але є набагато складнішими та дорогими.

## Електромеханічні прилади

**Шкала** (аналогового вимірювального прилада) – частина відлікового пристрою у вигляді впорядкованої сукупності позначок разом з пов'язаною з нею певною послідовністю чисел.

**Позначка шкали** – риска, або інший знак на шкалі, що відповідає деякому значенню вимірюваної величини.

**Поділка шкали** – частина шкали між двома сусідніми позначками шкали.

**Ціна поділки** – різниця значень вимірюваної величини, що відповідає двом сусіднім позначкам шкали.

**Шкали** бувають *рівномірні та нерівномірні*. Шкала рівномірна, якщо у неї поділки однакової довжини і зі сталою ціною поділки.

**Для лінійної шкали ціна поділки:**

$$C = \frac{X_k}{k_p},$$

де  $X_k$  - кінцеве значення вимірюваної величини;

$k_p$  - кількість поділок шкали.

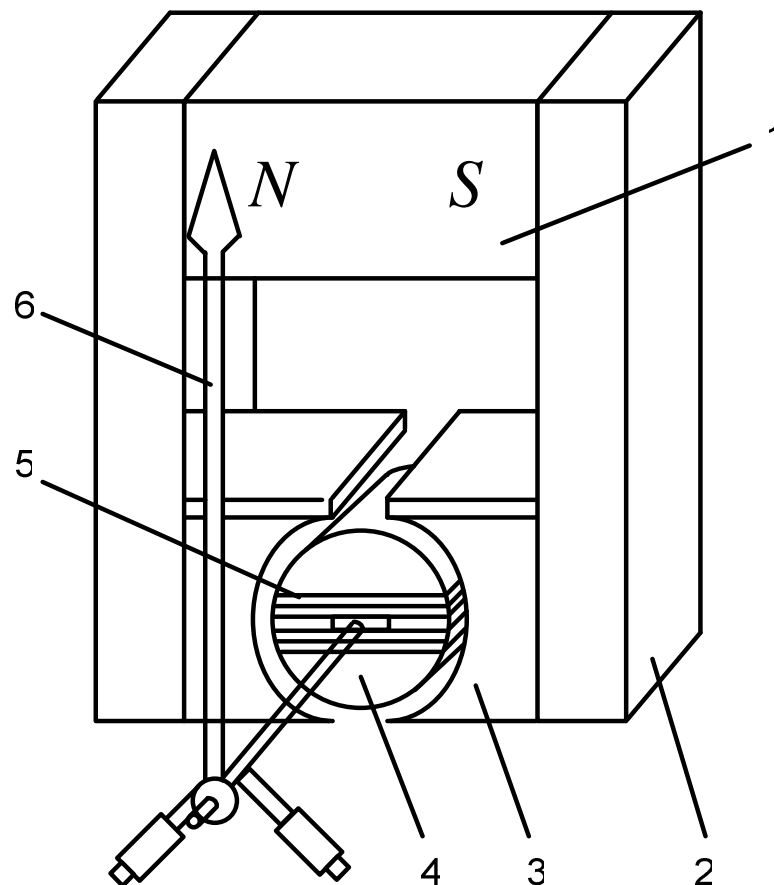
## Магнітоелектричні прилади

Електромеханічні прилади *за принципом перетворення електромагнітної енергії у механічну* поділяють на такі групи (системи):

- магнітоелектричні;
- електромагнітні;
- електродинамічні (феродинамічні);
- електростатичні;
- термоелектричні.

## Магнітоелектричний прилад

**Принцип дії:** взаємодія поля постійного магніту з провідником (катушкою), по якій протікає струм.



1 – постійний магніт; 2 – пластина магнітопроводу; 3 – полюсний наконечник;  
4 – осердя із магнітом’якого матеріалу; 5 – рухома катушка, намотана на  
алюмінієву рамку; 6 – стрілка

## Магнітоелектричний прилад

### Переваги:

- висока чутливість;
- висока точність;
- мала потужність споживання;
- впливною величиною є лише температура навколишнього середовища.

### Недоліки:

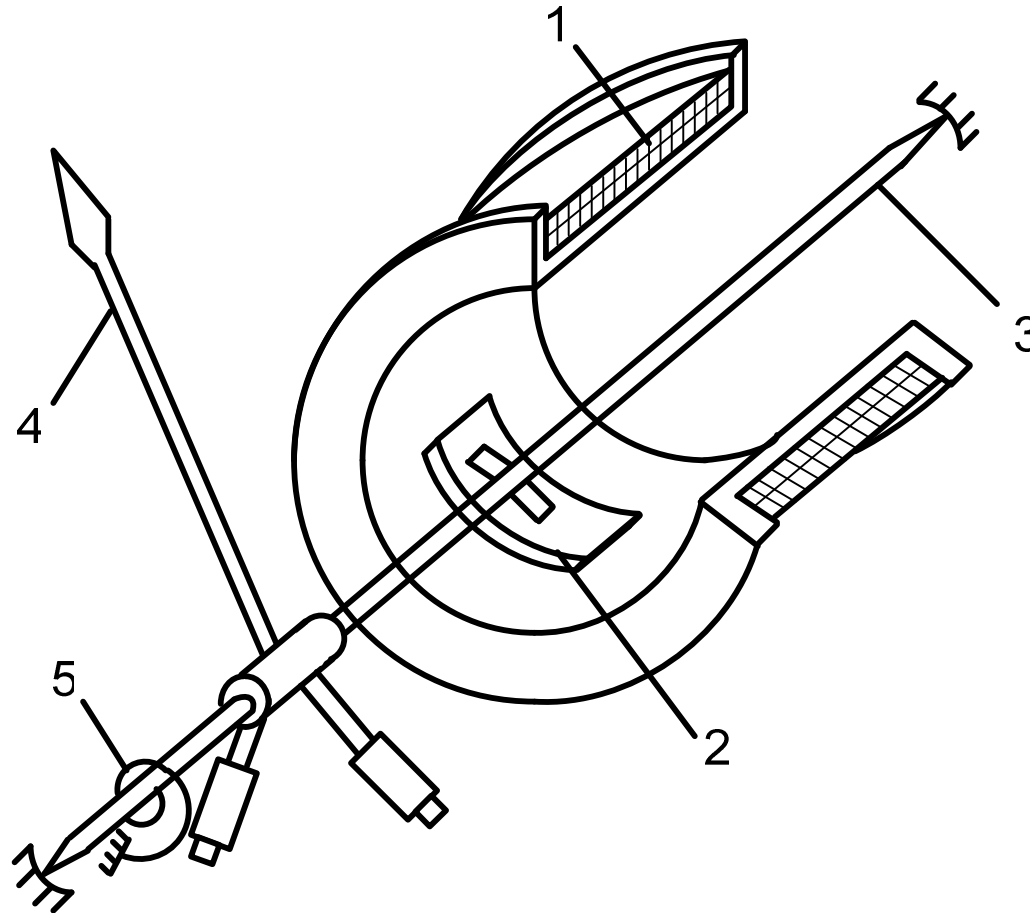
- відносна складність виготовлення та ремонту;
- неприпустимість навіть короточасних перевантажень.

**Кут відхилення стрілки:**  $\alpha \sim I$  (прямо пропорційний до вимірюваного струму).

**Вимірюваний струм:** постійний, змінний (після випрямлення).

## Електромагнітний прилад

**Принцип дії:** взаємодія магнітного поля котушки з рухомим феромагнітним осердям.



1 – кругла нерухома котушка; 2 – осердя із феромагнітного матеріалу; 3 – вісь;  
4 – стрілка; 5 – спіральна пружина



## Електромагнітний прилад

### Переваги:

- простота конструкції;
- надійність;
- низька вартість;
- робота як на постійному, так і на змінному струмах.

### Недоліки:

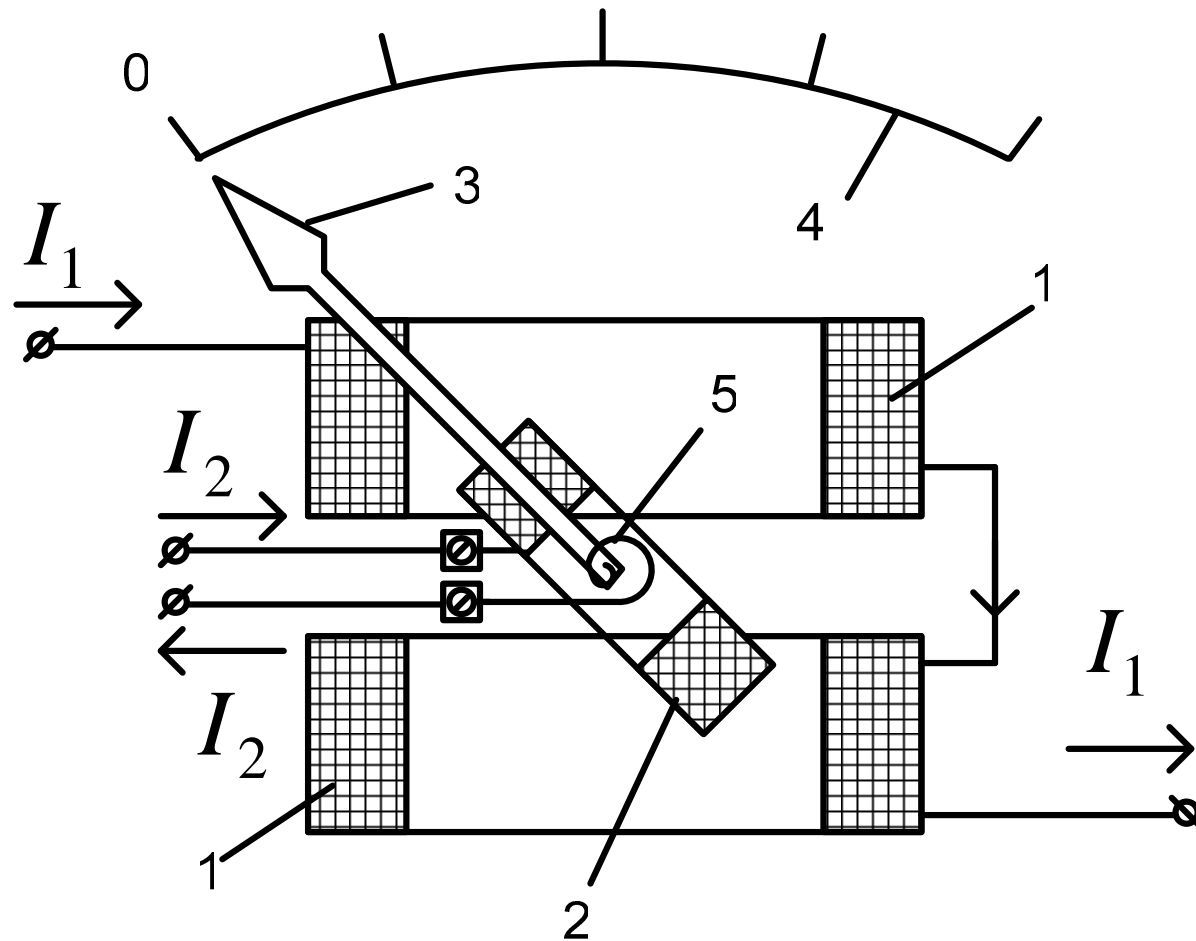
- низька чутливість;
- нелінійність шкали (стиснута на початку, розтягнута у кінці);
- відносно невисока точність
- значна потужність споживання
- багато впливних величин (температура, частота струму, зовнішнє магнітне поле).

**Кут відхилення стрілки:**  $\alpha \sim I^2$ .

**Вимірюваний струм:** постійний, змінний (діюче значення).

## Електродинамічний прилад

**Принцип дії:** взаємодія магнітних полів нерухомої та рухомої котушок, по яким протікають вимірювані струми.



1 – нерухома котушка; 2 – рухома котушка; 3 – стрілка; 4 – шкала;  
5 – спіральна пружина

## Електродинамічний прилад

### Переваги:

- можливість перемножувати вимірювані величини;
- мала похибка;
- робота як на постійному, так і на змінному струмах.

### Недоліки:

- низька чутливість;
- нелінійність шкали;
- неприпустимість перевантаження;
- значна потужність споживання
- багато впливних величин (температура, частота струму, зовнішнє магнітне поле).

**Кут відхилення стрілки:**  $\alpha_{\sim} \sim I_1 I_2$ ,  $\alpha_{\sim} \sim I_1 I_2 \cos \varphi$ .

**Вимірюваний струм:** постійний, змінний.

## Феродинамічний прилад

Є різновидом електродинамічного з тією лише різницею, що нерухомі котушки розташовують в осерді з феромагнітного матеріалу.

### Переваги:

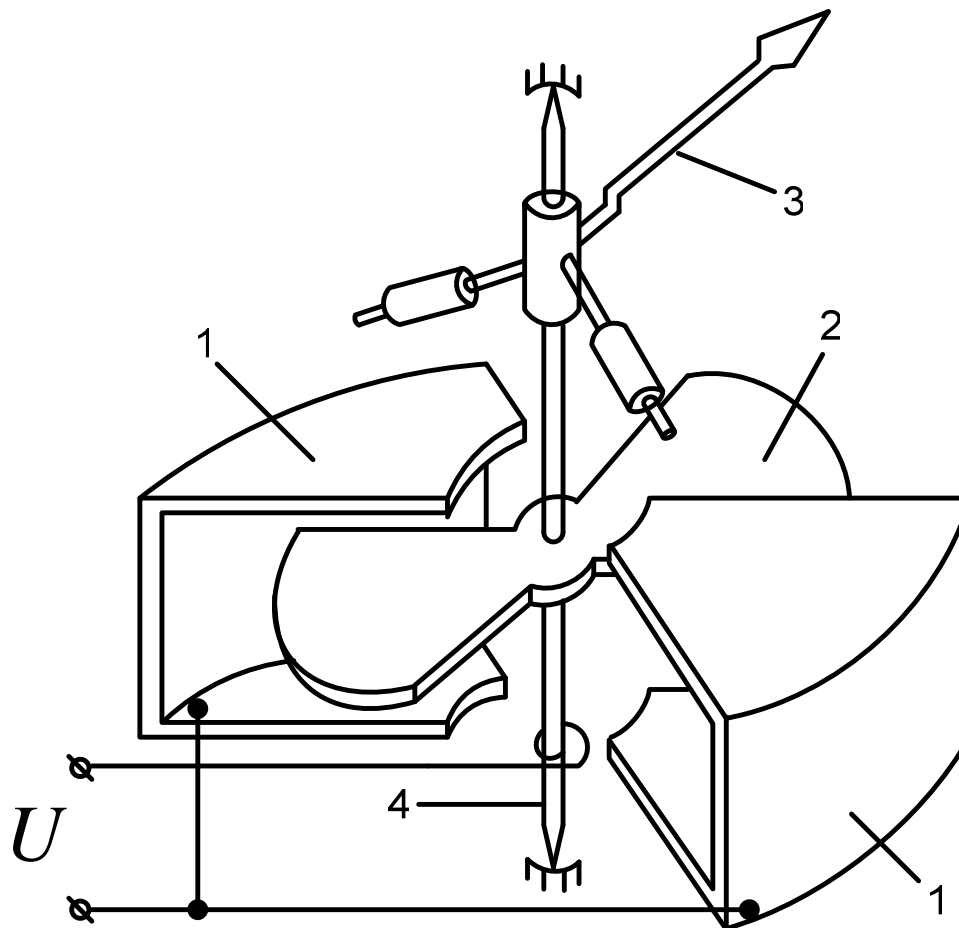
- значне збільшення обертового моменту;
- добрий захист від зовнішніх магнітних полів.

### Недоліки:

- наявність осердя призводить до збільшення похибки приладу.

## Електростатичний прилад

**Принцип дії:** взаємодія двох електрично заряджених тіл.



1 – нерухома частина; 2 – рухома частина; 3 – стрілка; 4 – вісь

## Електростатичний прилад

### Переваги:

- великі межі вимірювань;
- при вимірюванні постійної нупруги потужність від вимірюваного кола не споживається;
- великий діапазон робочих частот (до 1 МГц);
- робота як на постійному, так і на змінному струмах.

### Недоліки:

- низька чутливість;
- нелінійність шкали;
- зміна ємності під час вимірювань;
- багато впливних величин (температура, частота струму, зовнішнє електричне поле).

**Кут відхилення стрілки:**  $\alpha \sim U^2$ .

**Вимірюваний струм:** постійний, змінний.

## Термоелектричний прилад

Такі прилади призначено для роботи у колах змінного струму в діапазоні низьких та високих частот. Використовують їх переважно як амперметри та міліамперметри. Для вольтметрів не підходять в силу малого вхідного опору.

**Склад приладу:** термоелектричний перетворювач та магнітоелектричний мілі-чи мікроамперметр.

**Принцип дії:** зміна вихідного струму термоелектричного перетворювача при протіканні через нього вимірюваного струму.

### Переваги:

- незалежність показів від форми вимірюваного струму
- великі межі вимірюваних струмів (від одиниць міліампер до десятків ампер).

### Недоліки:

- мала чутливість;
- нелінійність шкали;
- неприпустимість перевантажень.

## Випрямлячі

Для вимірювань змінних напруг і струмів використовують випрямні перетворювачі, основою яких є випрямлячі, та магнітоелектричні вимірювальні пристрої.

В якості випрямних елементів використовують напівпровідникові діоди, ефективність яких у даній задачі характеризують коефіцієнтом випрямлення:

$$K_B = \frac{I_{np}}{I_{zv}} = \frac{R_{np}}{R_{zv}},$$

де  $I_{np}$ ,  $I_{zv}$  - прямий та зворотний струми;

$R_{np}$ ,  $R_{zv}$  - прямий та зворотний опори діодів.

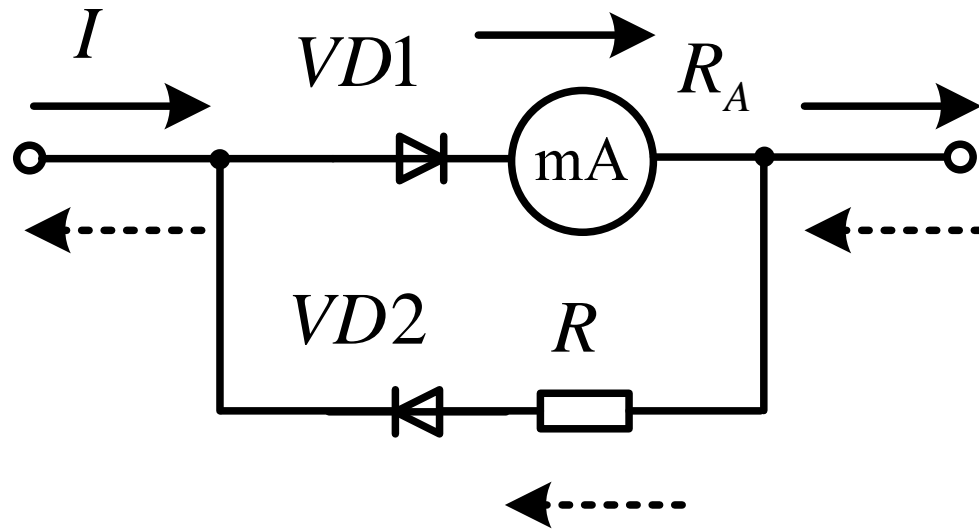
Коефіцієнт випрямлення залежить від частоти та значення перетворюваної величини, температури навколишнього середовища. Зі збільшенням частоти значення коефіцієнта випрямлення зменшується.

Випрямні прилади працюють за схемами одно- чи двонапівперіодного випрямлення.



## Однонапівперіодний випрямляч

У цій схемі струм під час додатнього півперіоду протікає через вимірювальне коло (діод VD1, міліамперметр), а протягом від'ємного півперіоду – по захисному колу (резистор R, діод VD2). Обидві ділянки ідентичні, оскільки діоди однакові, а опори рівні між собою  $R_{VD} = R_A$ .

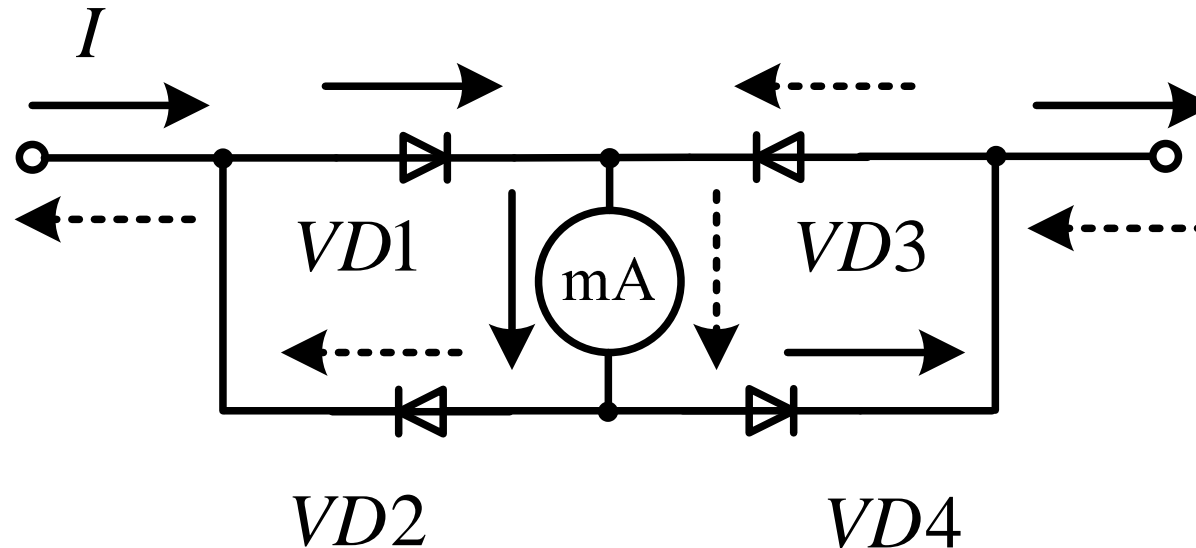


Покази міліамперметра пропорційні середньому значенню струму. Для синусоїдального струму

$$I_{cp} = \frac{I_m}{T} \int_0^{T/2} \sin \omega t dt = \frac{I_m}{\pi} = 0,318 I_m.$$

## Двонапівперіодний випрямляч

У цій схемі струм під час додатнього півперіоду протікає через діод VD1, міліамперметр, діод VD4, а протягом від'ємного півперіоду – діод VD3, міліамперметр, діод VD2.



Покази міліамперметра пропорційні середньому випрямленому значенню струму. Для синусоїдального струму

$$I_{\text{срв}} = \frac{I_m}{T} \int_0^T \sin \omega t dt = \frac{2I_m}{\pi} = 0,636 I_m.$$

## Випрямлячі

### Шкали випрямних приладів градуують у середніх квадратичних значеннях струму синусоїдальної форми.

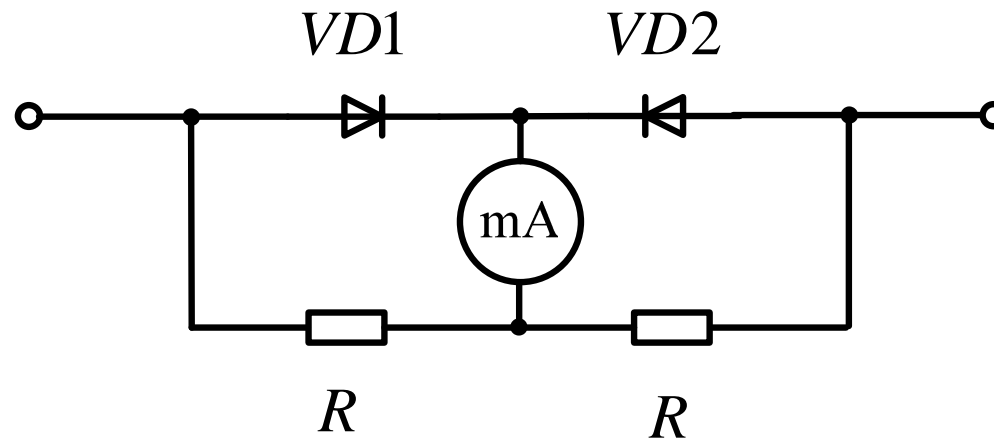
Звідси випливає, що при вимірюванні струму чи напруги несинусоїдальної форми отриманий відлік  $\alpha$  потрібно поділити на 1,11 (отримаємо середнє випрямлене значення вимірюваного струму) та помножити його на коефіцієнт форми вимірюваного струму  $K_{\phi x}$  :

$$\alpha_x = \frac{\alpha}{1,11} K_{\phi x}$$

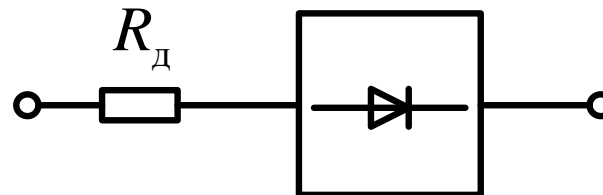
Якщо ж випрямний прилад працює за однонапівперіодною схемою випрямлення, то замість 1,11 потрібно підставити 2,22.

## Багатодіапазонні випрямлячі

При вимірюваннях великих струмів використовують дещо інші схеми – рисунок.



Тут резистори  $R$  є шунтами для кожного півперіоду струму. У багатодіапазонних амперметрах набір таких шунтів розташовують всередині корпуса та перемикають їх зовнішнім перемикачем. Випрямні вольтметри – рисунок,



складаються з випрямного міліамперметра та додаткового резистора. Додаткові резистори розташовують всередині корпуса багатодіапазонного вольтметра та перемикають їх зовнішнім перемикачем.