

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

# **Особливості вимірювання напруги та струму**

## Загальні положення

**Перед** (!) вимірюваннями напруги (струму) потрібно мати уявлення про їх:

- частоту;
- форму;
- очікуване значення;
- потрібну точність вимірювань;
- опір кола, у якому проводяться вимірювання.

Для вимірювань напруги (струму) використовують *метод безпосередньої оцінки* (прямопоказуючі вольтметри та амперметри) та *метод порівняння* (компенсатори, цифрових та аналогових компенсаційних вольтметрах).

### **Варто пам'ятати:**

- 1) Вимірювання постійного струму виконують з меншою похибкою, ніж змінного.
- 2) Зі збільшенням частоти похибка вимірювання напруги (струму) збільшується.

## Загальні положення

Прилади включають:

*вольтметри* – паралельно до ділянки кола, падіння напруги на якій потрібно виміряти;

*амперметри* – послідовно з навантаженням (у розрив кола).

Для мінімізації впливу підключеного приладу на режим роботи кола потрібно *виконувати* такі умови:

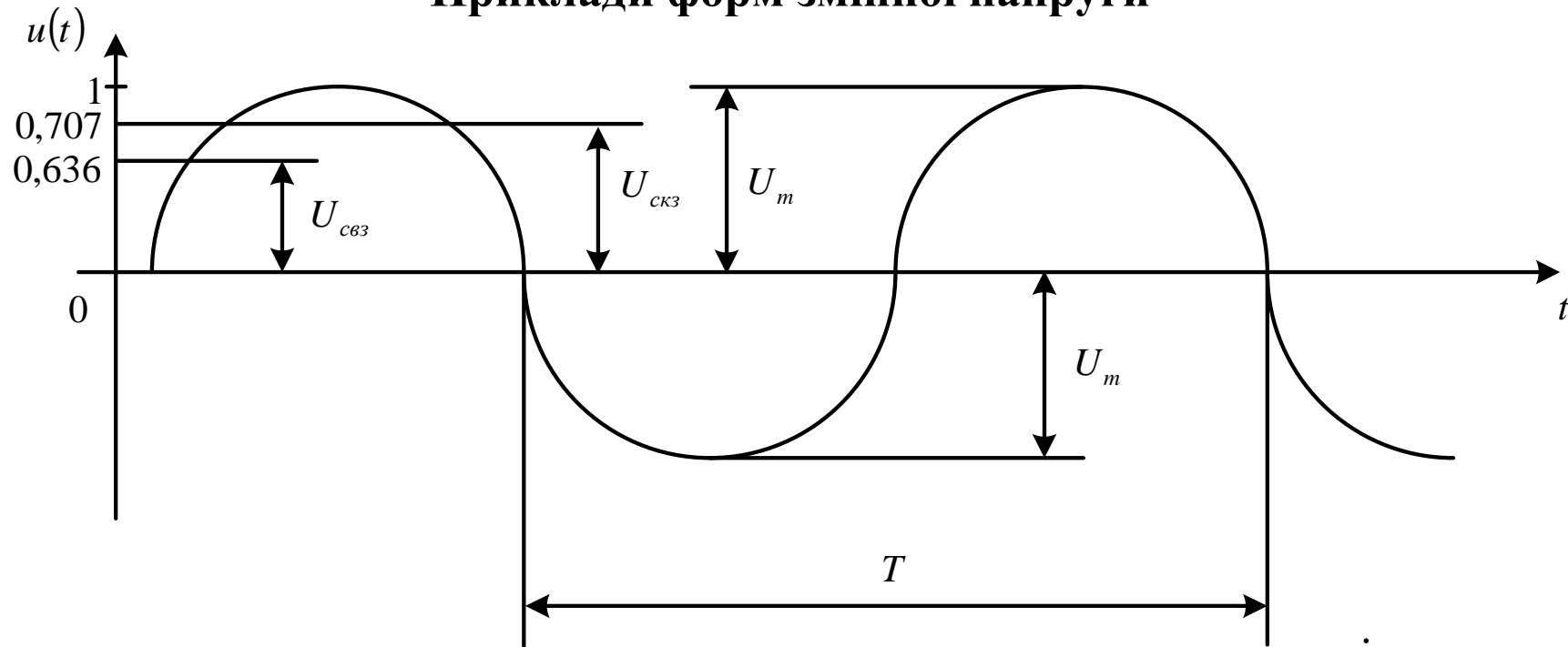
$R_V \gg R_n$  - внутрішній опір вольтметра має бути набагато більшим за опір навантаження, паралельно до якого його (вольтметр) підключено;

$R_A \ll R_n$  - внутрішній опір амперметра має бути набагато меншим за опір навантаження;

Невиконання цих умов спричиняє появу систематичної методичної похибки,

значення якої приблизно становить  $\frac{R_n}{R_V}$  та  $\frac{R_A}{R_n}$  відповідно.

## Приклади форм змінної напруги



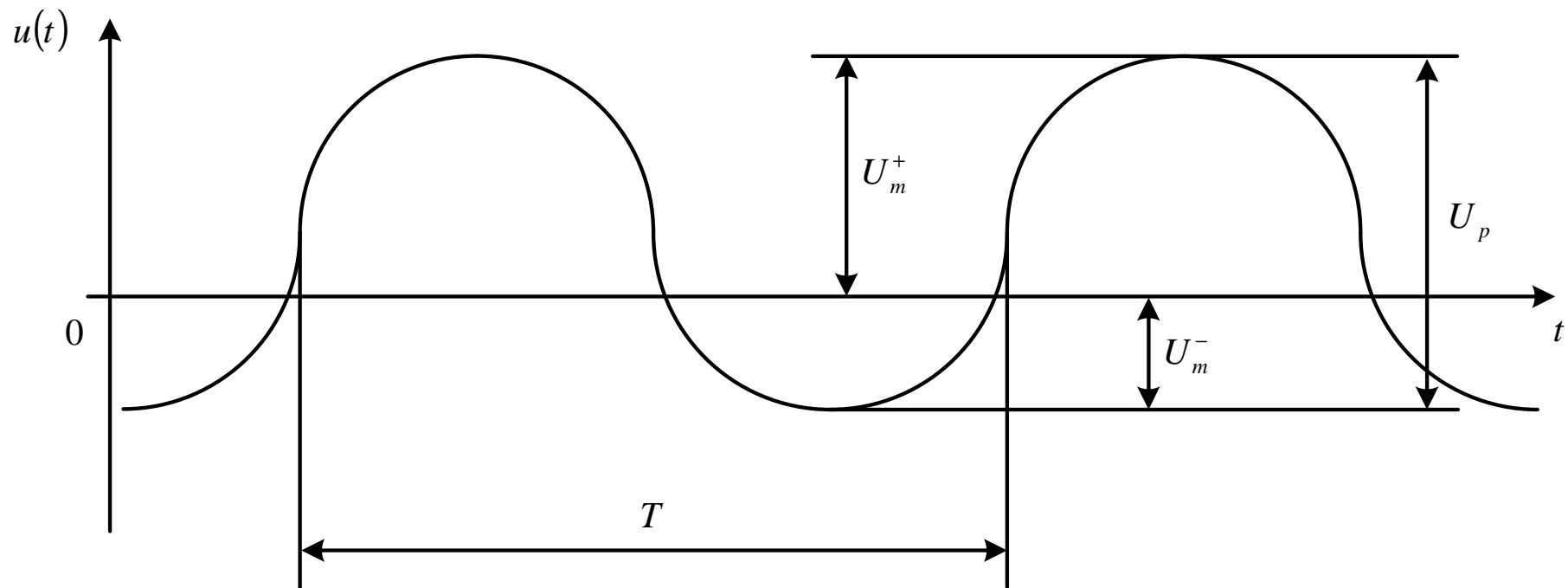
**Гармонічна** (синусоїдальна, косинусоїдальна) **напруга**  $u(t) = U_m \begin{matrix} \sin \\ \cos \end{matrix} (\omega t + \varphi)$

$U_m$  - амплітуда напруги;  $T$  - період напруги;  $\varphi$  - початкова фаза;

$f = \frac{1}{T}$  - частота (лінійна) напруги;

$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$  - колова частота напруги.

## Приклади форм змінної напруги



### Несиметрична (відносно нуля) напруга

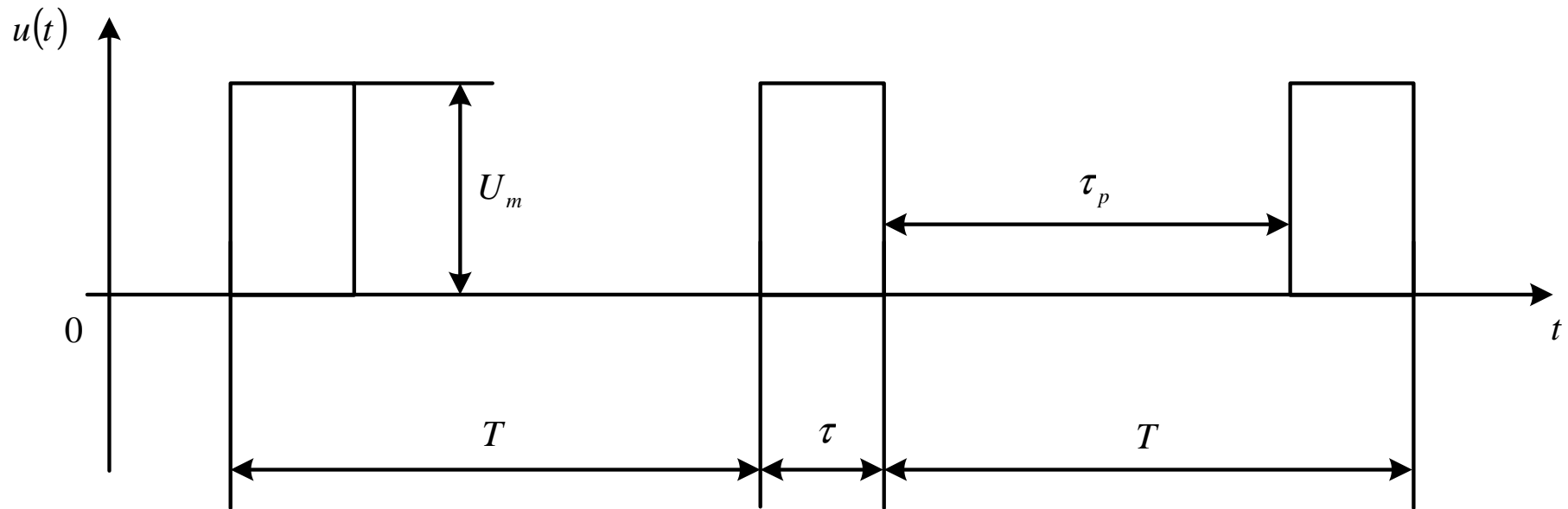
$U_m^+$  - пікове відхилення напруги вверх;

$U_m^-$  - пікове відхилення напруги вниз;

$U_p = U_m^+ - U_m^-$  - розмах (це різниця пікових напруг).

Для симетричних напруг  $U_m^+ = U_m^- = U_m \Rightarrow U_m = \frac{U_p}{2}$ .

## Приклади форм змінної напруги



### Однополярні імпульси (додатні)

$U_m$  - амплітуда імпульса;

$T$  - період;

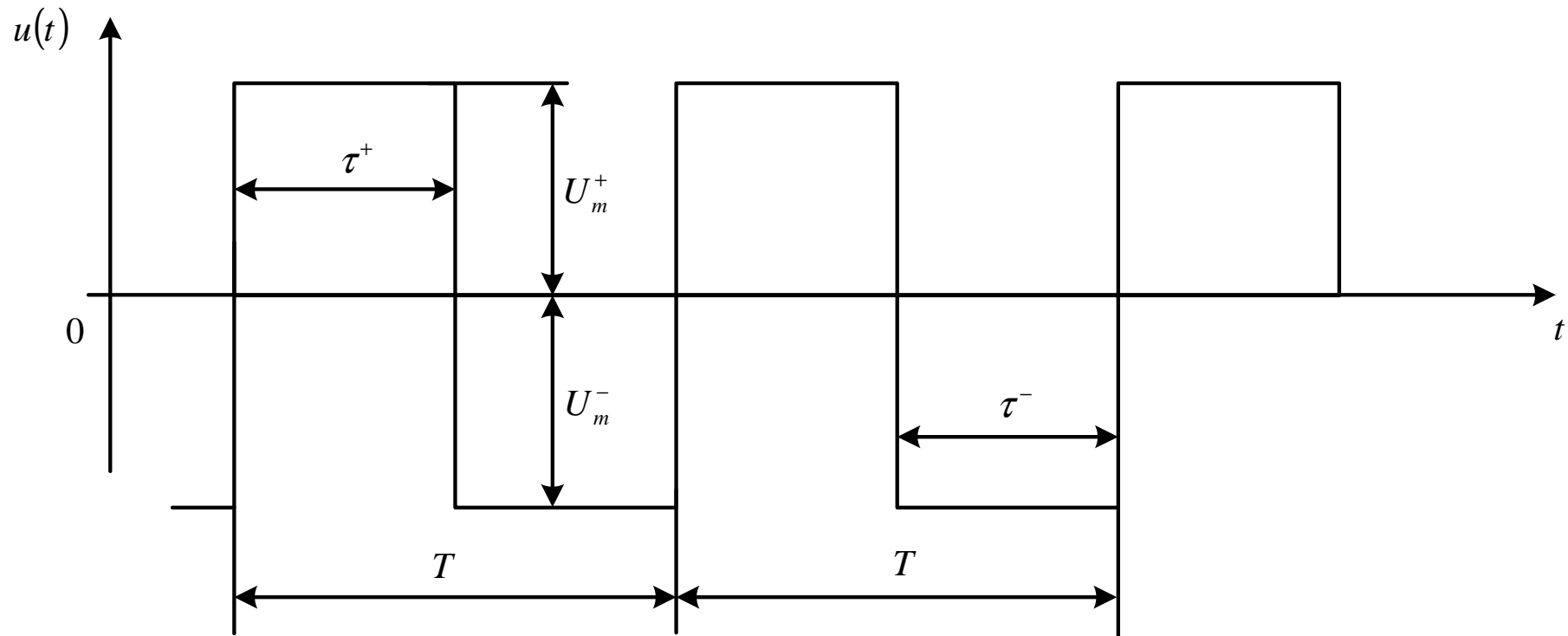
$\tau$  - тривалість імпульса;

$\tau_p$  - тривалість паузи;

$$Q = \frac{T}{\tau} \text{ - шпаруватість;}$$

$$Q_3 = \frac{1}{Q} = \frac{\tau}{T} \text{ - коефіцієнт заповнення.}$$

## Приклади форм змінної напруги



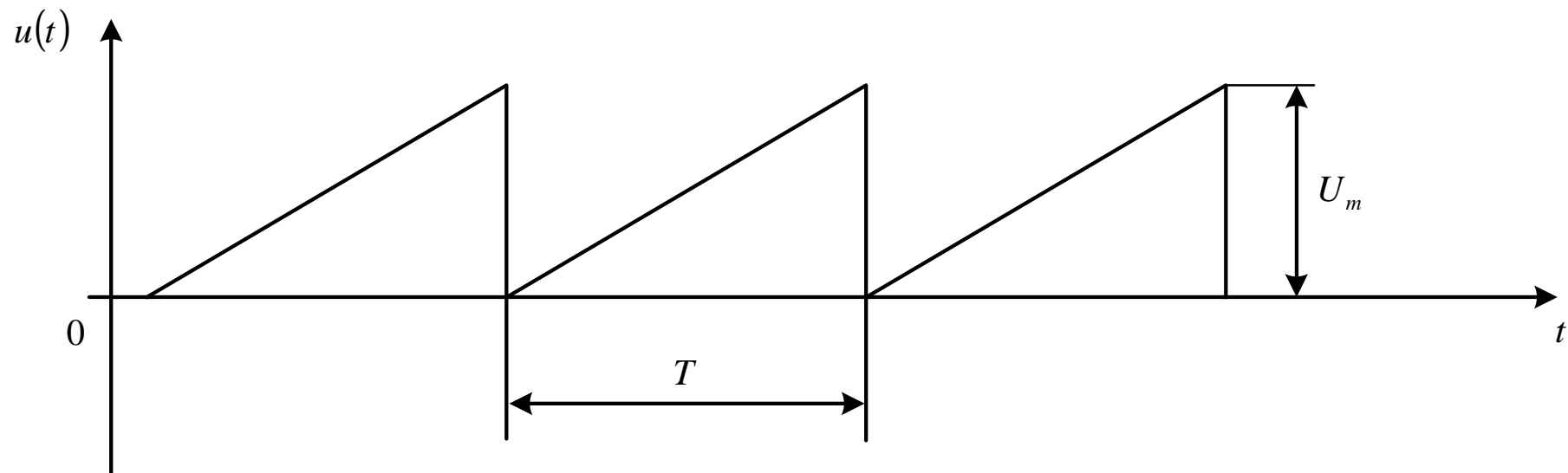
### Меандр

$\tau^+$  - тривалість додатньої півхвилі;

$\tau^-$  - тривалість від'ємної півхвилі.

Зазвичай у меандра  $U_m^+ = U_m^- = U_m$ ,  $\tau^+ = \tau^- = \tau$  і  $Q = 2$ .

## Приклади форм змінної напруги



**Пилкоподібна напруга** (лінійно наростаюча)



## Загальні положення

Рівень змінної напруги характеризують:

- миттєвим значенням  $u(t)$ ;
- амплітудою  $U_m$  (піковим значенням для негармонічних коливань)
- середнім квадратичним значенням (діюче, ефективне);
- середнім значенням (постійна складова);
- середнім випрямленим значенням.

Миттєві значення напруги спостерігають на екрані осцилографа чи іншого подібного приладу та визначають у кожен момент часу.

## Середнє квадратичне значення напруги

$$U_{\text{скз}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$$

*Якщо ж періодичний сигнал негармонічний*, то квадрат середнього значення буде дорівнювати сумі квадратів постійної складової та середніх квадратичних значень гармонік:

$$U_{\text{скз}}^2 = U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots$$

Амплітудне та середнє квадратичне значення пов'язані між собою **коефіцієнтом амплітуди**:

$$K_a = \frac{U_m}{U_{\text{скз}}}$$

## Середнє випрямлене значення

$$U_{свз} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt$$

Це середнє арифметичне абсолютних миттєвих значень напруги за період.

Середнє випрямлене та середнє квадратичне значення пов'язані між собою **коефіцієнтом форми**:

$$K_{\phi} = \frac{U_{скз}}{U_{свз}}.$$

Зв'язок між середнім випрямленим значенням та амплітудою:

$$U_{свз} = \frac{U_m}{K_a K_{\phi}}.$$

## Середнє значення напруги (постійна складова)

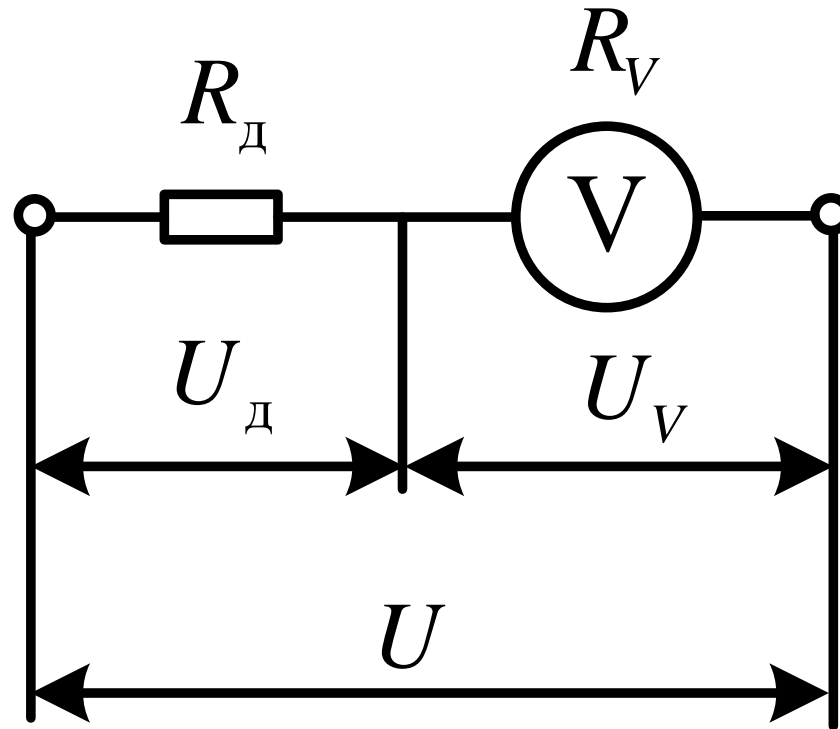
$$U_{сз} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt$$

Це середнє арифметичне всіх миттєвих значень за період.

## Значення коефіцієнтів амплітуди та форми для типових напруг

Форма напруги	$K_a$	$K_\phi$
Гармонічна	$\sqrt{2}$	1,11
Трикутна	$\sqrt{3}$	1,16
Меандр	1	1
Однополярні імпульси	$\sqrt{Q}$	$\sqrt{Q}$

## Розширення меж вимірювання напруги

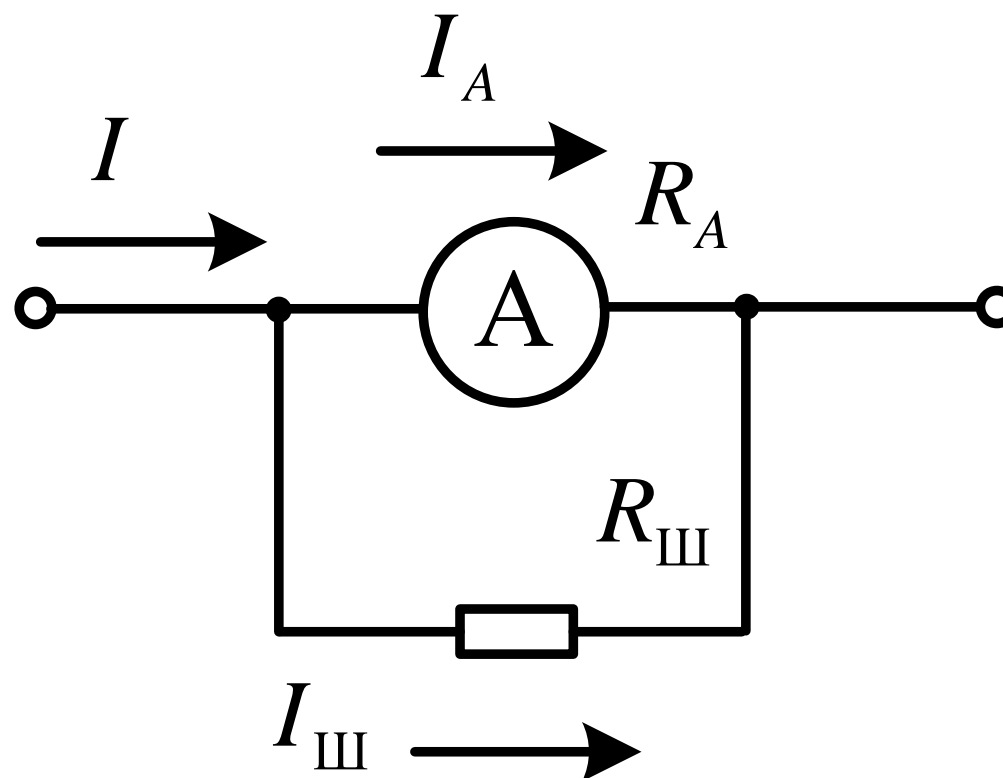


Значення опору додаткового резистора:

$$R_d = R_V (m - 1),$$

$$\text{де } m = \frac{U}{U_V}.$$

## Розширення меж вимірювання струму



Значення опору шунта:

$$R_{III} = \frac{R_A}{(m - 1)},$$

$$\text{де } m = \frac{I}{I_A}.$$

## Альтернатива вимірювальним трансформаторам



Вимірювальні кліщі