

Podstawy elektrotechniki

Pomiary elektryczne

Pomiary wielkości elektrycznych: napięcia, natężenia prądu, mocy i pracy prądu itd. wykonuje się przyrządami, w których wykorzystuje się zjawiska towarzyszące przepływowi prądu elektrycznego: *cieplne, chemiczne i magnetyczne*. Z praktycznego punktu widzenia największe znaczenie dla pomiarów elektrycznych mają zjawiska magnetyczne i związane z tym siły działające w polu magnetycznym prądu.

W stanach ustalonych pomiary wykonuje się za pomocą *przyrządów (mierników) wskazówkowych*. W przyrządach tych *moment napędowy* działa na organ ruchomy i powoduje wychylenie wskazówki, która pokazuje na skali wartość mierzonej wielkości. W przypadku pomiaru prądów albo napięć okresowo zmiennych skala przyrządu jest wyskalowana w wartościach średnich albo skutecznych.

Organ ruchomy wytwarza *moment zwracający* (zwrotny), który równoważy moment napędowy. Do wytworzenia momentu zwracającego służą sprężynki spiralne. Do ustawiania wskazówki w położeniu zerowym służy mimośród. Przeciwwaga ma na celu takie wyważenie organu ruchomego, aby środek ciężkości znajdował się na osi obrotu.

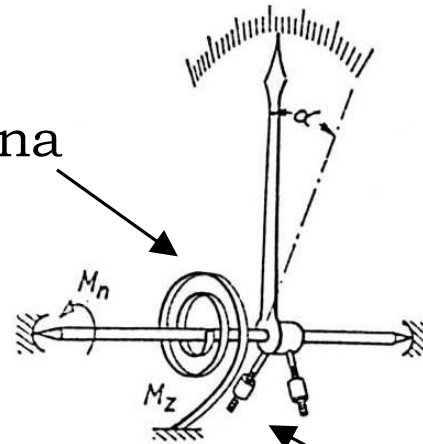
Pod działaniem momentu napędowego wskazówka wychyla się o kąt α , przy którym następuje zrównoważenie momentu napędowego przez moment zwracający. Wskutek bezwładności organu ruchomego osiągnięcie stanu równowagi nie następuje natychmiast, lecz po pewnej liczbie wahań. Dla skrócenia czasu wahań stosuje się tłumiki, wytwarzające *moment tłumiący* w czasie ruchu organu ruchomego. Najczęściej stosuje się tłumienia powietrzne i wiroprowadowe.

W tłumikach powietrznych ruch jest tłumiony oporem powietrza w komorze, w której porusza się skrzydełko tłumika. W tłumikach wiroprowadowych natomiast tłumienie ruchu powstaje pod wpływem prądów wirowych indukowanych w blaszce, poruszającej się w polu magnesu trwałego.

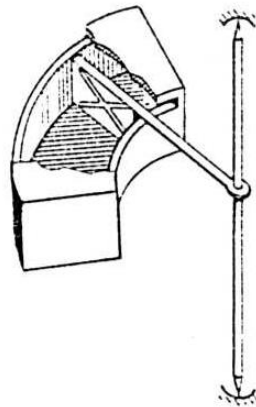
Zasadniczą częścią każdego miernika elektrycznego jest ustrój pomiarowy, tj. ta część przyrządu, w której mierzona wielkość elektryczna zostaje przekształcona na wychylenie wskazówki. Pod względem budowy i zasady działania ustroju pomiarowego mierniki, w których wykorzystano do pomiaru pole magnetyczne prądu, dzieli się na mierniki:

- magnetoelektryczne,
- elektromagnetyczne,
- elektrodynamiczne,
- indukcyjne.

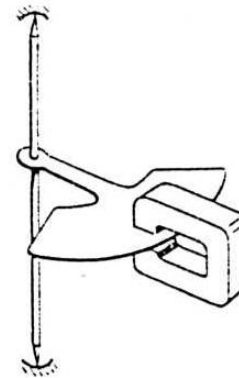
Sprężyna zwrotna



Przeciwwaga



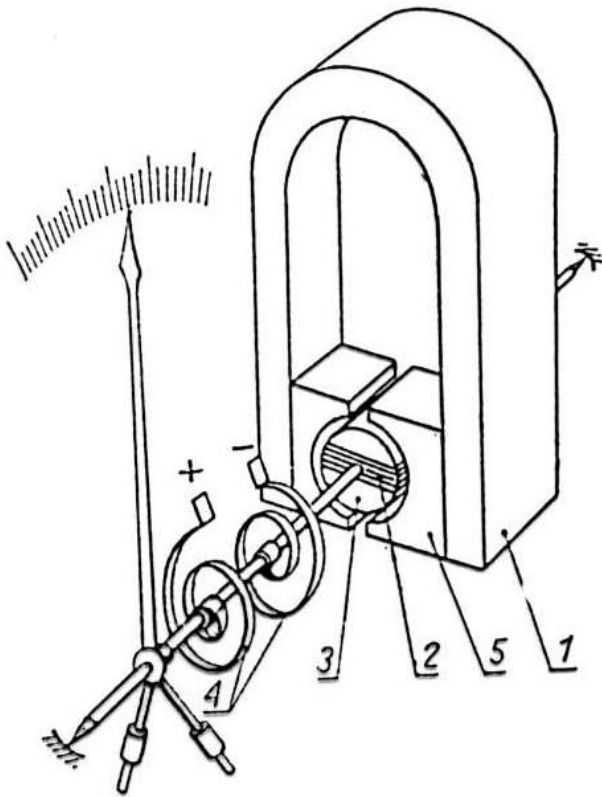
Tłumik powietrzny



Tłumik wiroprowodowy

Mierniki magnetoelektryczne

- z ruchomą cewką i nieruchomym magnesem;
- z nieruchomą cewką i ruchomym magnesem.



1. magnes stały;
2. cewka pomiarowa na ramce aluminiowej;
3. aluminiowa ramka — rdzeń z materiału miękkiego magnetycznie;
4. spiralne sprężynki zwrotne;
5. nabiegunnik.

Mierniki magnetoelektryczne

$$M_n = 2rFz = 2rBlz = k_1 I$$

$$M_z = k_2 \alpha$$

$$\alpha = \frac{k_1}{k_2} I = kI$$

Mierniki magnetoelektryczne

Kierunek wychylenia wskazówki zależy od kierunku przepływu prądu, zatem podczas pomiarów takim przyrządem ważna jest *biegunowość*. Gdy natężenie prądu podlega szybkim zmianom, wychylenie wskazówki jest proporcjonalne do wartości średniej prądu. Przy przepływie prądu przemiennego, momenty działające na ceweczkę znosiłyby się w obu półokresach i w konsekwencji wskazówka pokazywałaby zero. Mierniki magnetoelektryczne służą zatem do pomiaru *prądów stałych* albo *pulsujących jednokierunkowych*.

Dodanie prostownika umożliwia pomiar napięć i prądów przemiennych.

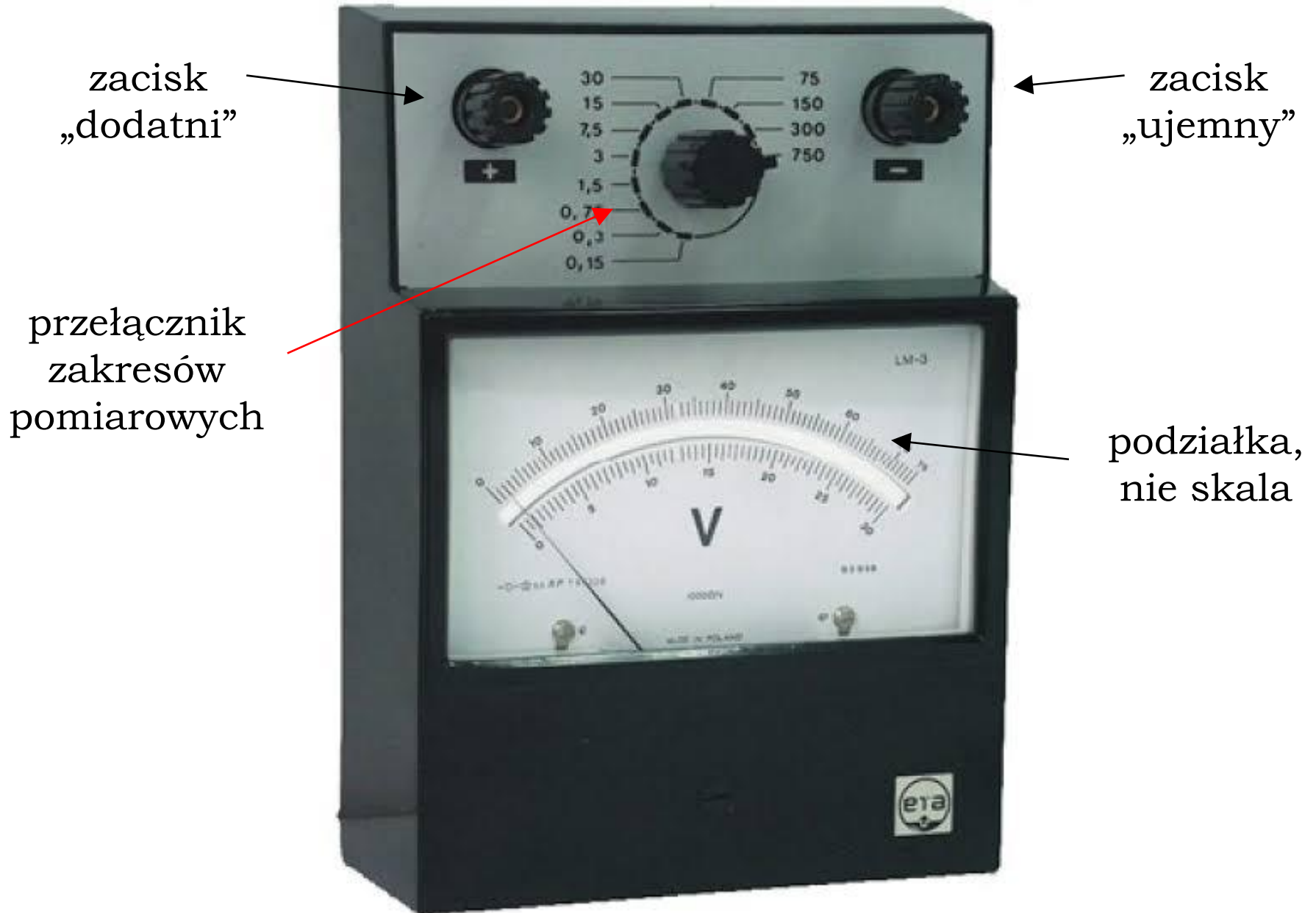
Mierniki magnetoelektryczne

Mierniki magnetoelektryczne są stosowane jako:

- galwanometry,
- woltomierze,
- amperomierze.

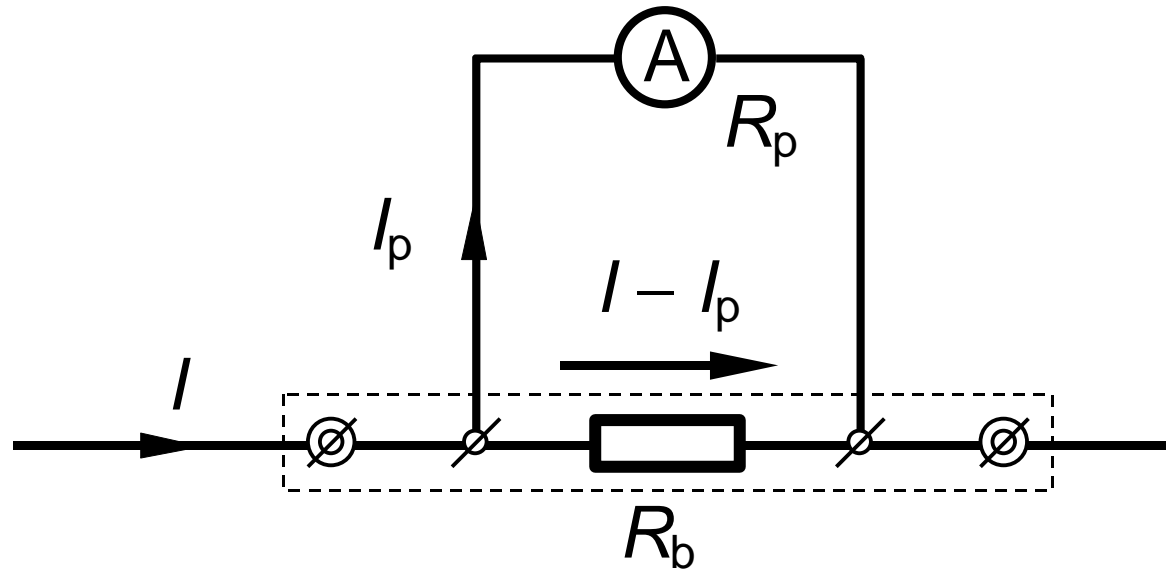
Z powodu cewki wykonanej z cienkiego „druciku” służą ogólnie do pomiaru niewielkich prądów (do kilkudziesięciu miliamperów), a ze względu na jej małą rezystancję zakres napięć jest również niewielki. W celu rozszerzenia zakresów pomiarowych stosuje się opory włączane równolegle do amperomierzy (boczniki) albo szeregowo do woltomierzy (posobniki).

Mierniki magnetoelektryczne



Mierniki magnetoelektryczne

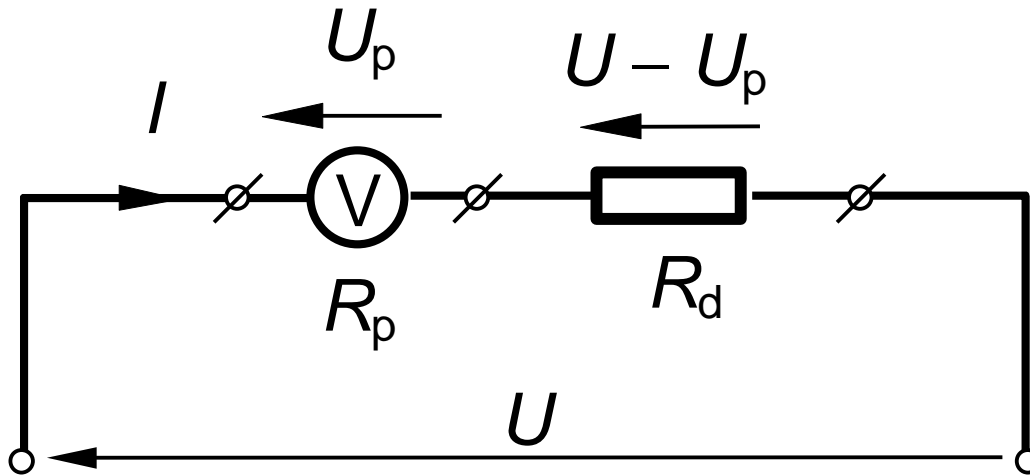
Bocznik



$$R_p I_p = (I - I_p) R_b$$
$$R_b = R_p \frac{I_p}{I - I_p} = \frac{R_p}{n - 1}$$

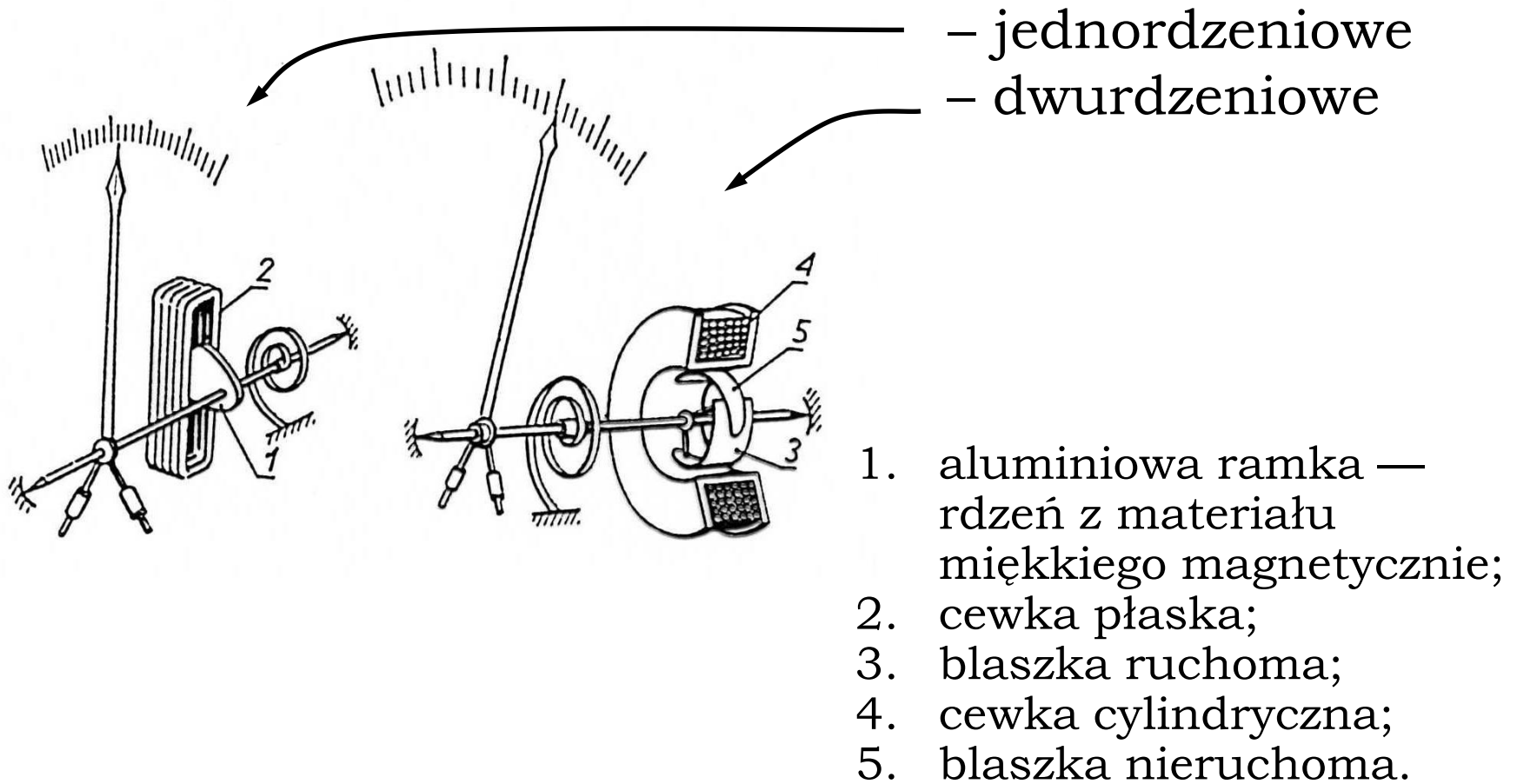
Mierniki magnetoelektryczne

Posobnik



$$U_p = R_p I \quad \text{i} \quad U - U_p = R_d I \quad \quad R_d = R_p \frac{U - U_p}{U} = (n - 1) R_p$$

Mierniki magnetoelektryczne



Mierniki elektromagnetyczne

$$W = \frac{1}{2} LI^2$$

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

$$\alpha = kI^2 \frac{dL}{d\alpha}$$

$$\frac{dL}{d\alpha} = \text{const}$$

Mierniki elektromagnetyczne

W miernikach jednordzeniowych rdzeń z miękkiego materiału ferromagnetycznego jest wciągany w głąb cewki elektromagnesu, a połączona z nim wskazówka wychyla się tym bardziej, im większe jest natężenia prądu płynącego przez cewkę.

W częściej używanych miernikach dwurdzeniowych wewnątrz cewki o kształcie cylindrycznym umieszczone są dwie blaszki: jedna nieruchoma przymocowana do cewki, druga ruchoma połączona z organem ruchomym. W polu magnetycznym wytworzonym przez prąd płynący w zwojach cewki blaszki magnesują się jednoimiennie i odpychają się niezależnie od kierunku prądu, zarówno przy prądzie stałym jak i przemiennym. Skala miernika nie jest równomierna; można na nią wpływać przez odpowiedni dobór kształtu blaszek. Zazwyczaj przyrząd jest wycechowany w wartościach *skutecznych* prądu przemiennego. Jeśli skala jest ważna również dla prądu stałego, podana jest odpowiednia informacja (znak).

Mierniki elektromagnetyczne

Mierniki elektromagnetyczne służą zatem do pomiaru *prądów stałych i przemiennych* i są stosowane jako:

- woltomierze,
- amperomierze.

Jako woltomierze i amperomierze różnią się od siebie uzwojeniem cewki. Cewka woltomierza jest wykonana z cienkiego drutu nawojowego i ma dużą liczbę zwojów (duży opór własny cewki), przez którą przepływa mały prąd. Cewka amperomierza ma małą rezystancję dzięki małej liczbie zwojów wykonanych z grubego drutu.

Mierniki elektromagnetyczne

Mierniki takie włączane bezpośrednio do mierzonego obwodu mają zakres napięciowy od pojedynczych woltów do nawet 600 V, a mierzone prądy mogą mieć wartość od 50 mA do ok. 300 A. Przez zastosowanie oporników dodatkowych można zmieniać zakres pomiarowy woltomierzy; zakres amperomierzy zmienia się przez zastosowanie cewek z odczepami o różnej liczbie zwojów (na każdym zakresie ma być taki sam przepływ prądu).

W celu mierzenia wysokich napięć albo bardzo dużych natężeń prądów stosuje się *transformatory pomiarowe* o odpowiednio dobranych przekładniach i nazywane przekładnikami prądowymi i napięciowymi.

Mierniki elektromagnetyczne

„K” w tym położeniu zaciski
amperomierza są ze sobą zwarte

zacisk
„dodatni”

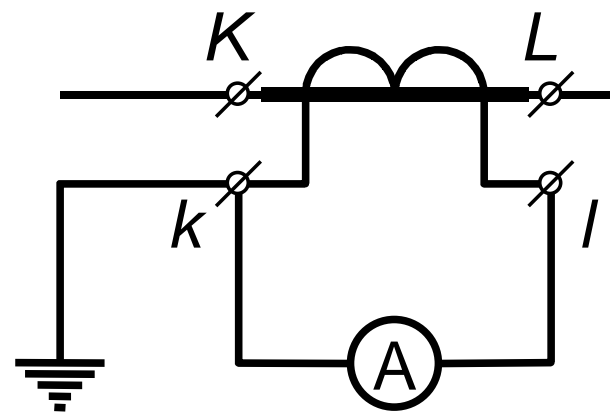
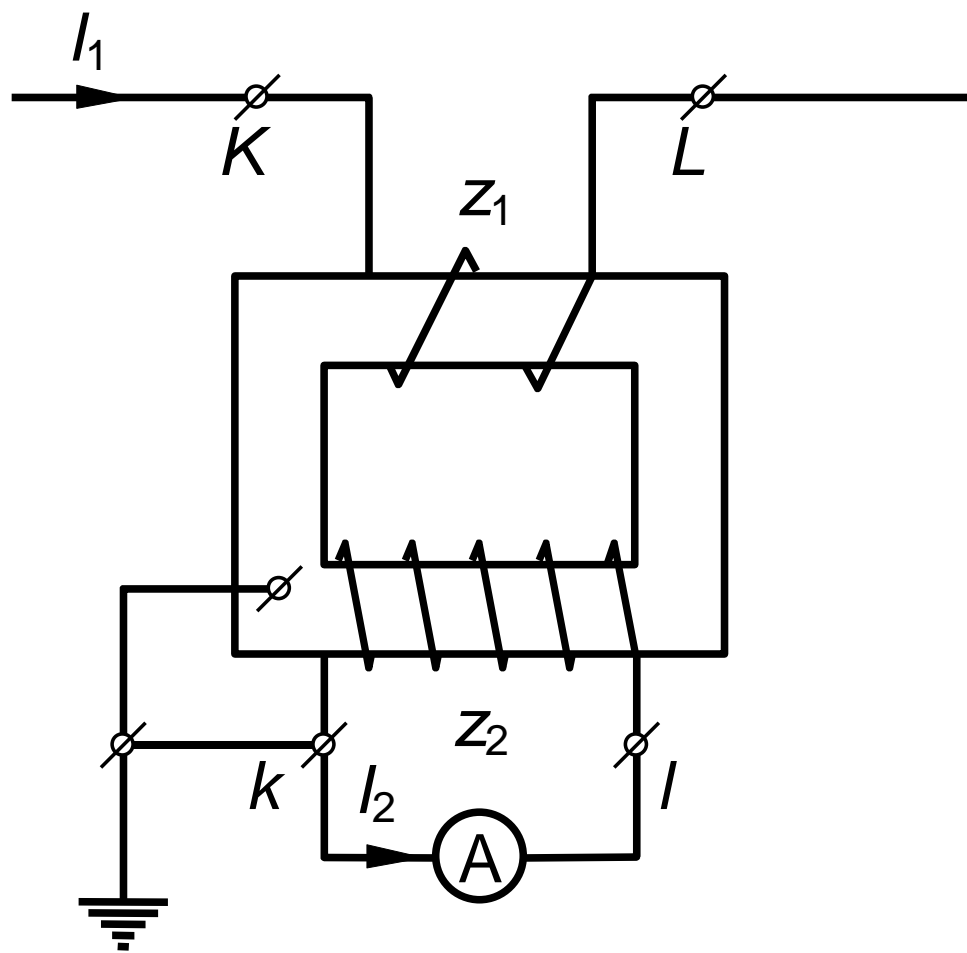
zacisk
„ujemny”

przełącznik
zakresów
pomiarowych

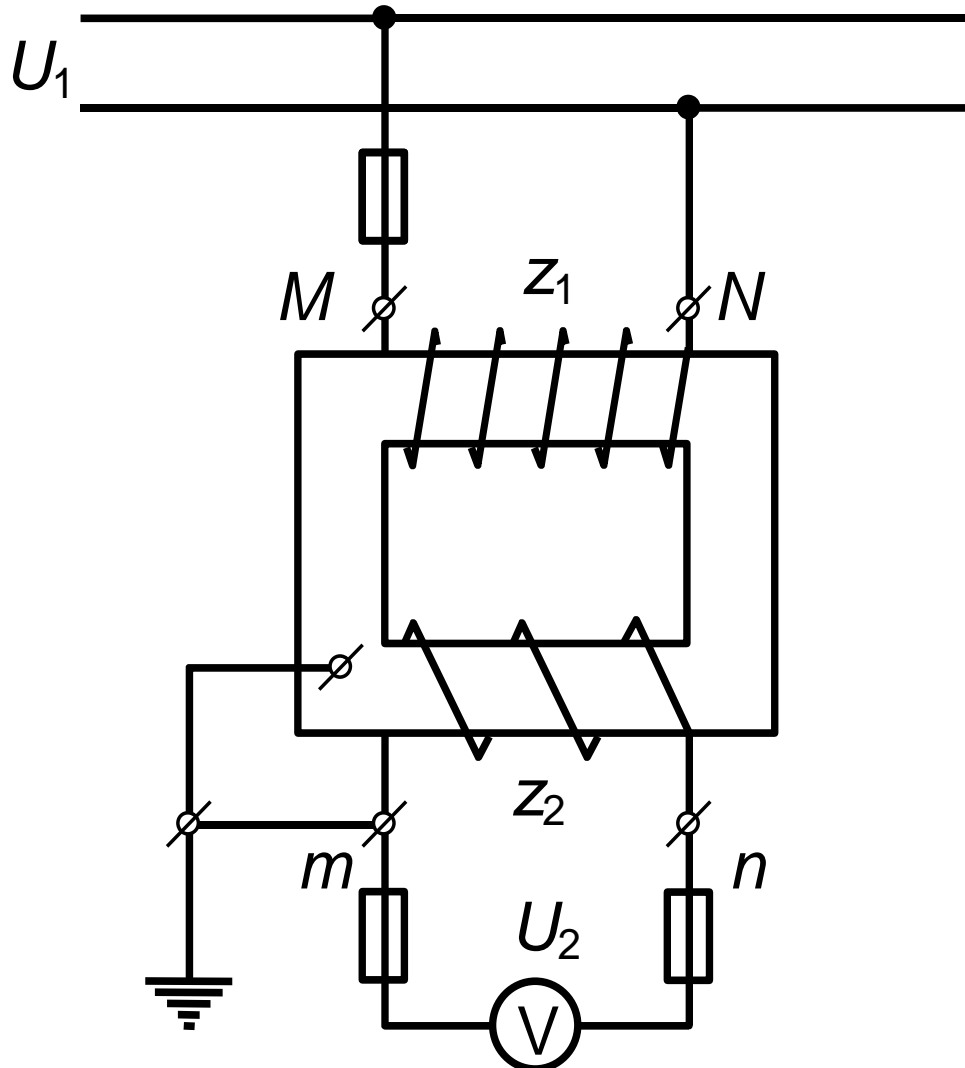


podziałka,
nie skala

Przekładnik prądowy

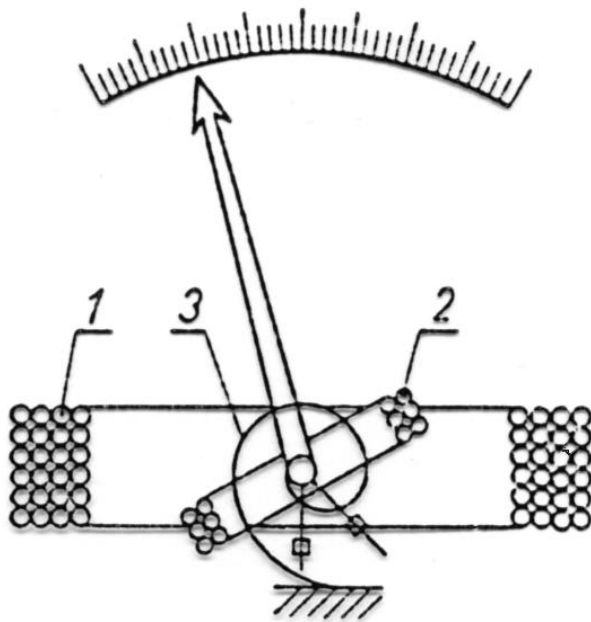


Przekładnik napięciowy



$$\frac{I_1}{I_2} \cong \frac{z_2}{z_1} \quad \wedge \quad \frac{U_1}{U_2} \cong \frac{z_1}{z_2}$$

Mierniki elektrodynamiczne



1. cewka nieruchoma;
2. cewka ruchoma;
3. sprężyna.

$$\alpha = kI_1 I_2 \cos \varphi$$

$$\alpha = kI^2$$

$$I_v = \frac{U}{R_v}$$

Mierniki elektrodynamiczne

Główną dziedziną zastosowań mierników elektrodynamicznych jest pomiar mocy prądu przemiennego. Przyrząd taki nazywa się watomierzem elektrodynamicznym.

Cewkę nieruchomą włącza się szeregowo w obwód mierzonego prądu i nazywa się ją *cewką prądową*. Cewkę ruchomą wraz z włączonym szeregowo oporem dodatkowym przyłącza się równolegle do odbiornika na napięcie i nosi ona nazwę *cewki napięciowej*.

Mierniki elektrodynamiczne

Symbol ten oznacza, że zaciski prądowe watomierza są ze sobą zwarte

zacisk napięciowe

zaciski prądowe

przełączniki zakresów napięciowych i prądowych



podziałka, nie skala

Mierniki elektrodynamiczne

$$\alpha = k I I_v \cos \varphi = k I \frac{U}{R_v} \cos \varphi = c_w U I \cos \varphi = c_w P$$

$$c_w = \frac{U_n I_n \cos \varphi_n}{\alpha_{\max}}$$

Staća watomierza

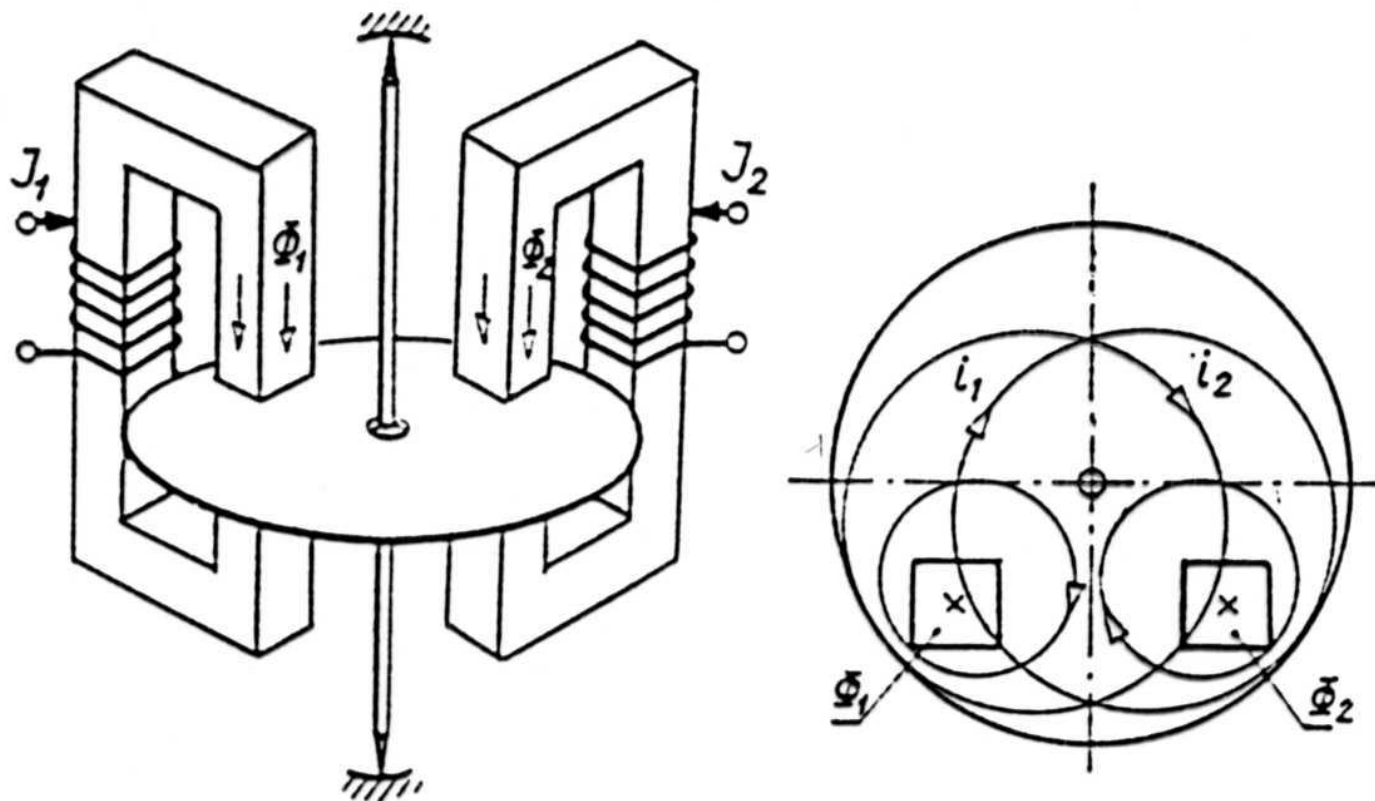
Mierniki elektrodynamiczne

Mierniki elektrodynamiczne służą do pomiaru *prądów stałych i przemiennych* i są stosowane jako:

- amperomierze,
- woltomierze,
- watomierze.

Obie cewki łączy się odpowiednio szeregowo (amperomierz) albo równolegle (woltomierz) i włącza do obwodu pomiarowego. Wychylenie wskazówki jest więc proporcjonalne do kwadratu prądu płynącego przez ustrój pomiarowy. Amperomierze i woltomierze elektrodynamiczne mają bardziej złożoną budowę i są droższe od mierników magnetoelektrycznych i elektromagnetycznych, dlatego rzadziej są stosowane, głównie jako laboratoryjne przyrządy wzorcowe o dużej dokładności.

Mierniki indukcyjne



Mierniki indukcyjne

W miernikach indukcyjnych wykorzystuje się oddziaływanie strumienia magnetycznego, wytworzonego przez prąd płynący w cewce elektromagnesu, na prądy wirowe indukowane w tarczy metalowej. Dla zwiększenia momentu napędowego stosuje się mierniki dwustrumieniowe. Prądy I_1 i I_2 w cewkach elektromagnesów wytwarzają strumienie magnetyczne pulsujące, które indukują prądy wirowe w tarczy umieszczonej w szczelinie powietrznej elektromagnesów. Na prądy płynące w tarczy w polu magnetycznym działają siły, które powodują jej obrót.

Mierniki indukcyjne

$$M_n = cI_1I_2f \cos \psi$$

$$M_n = k\alpha = c_1UI \cos \varphi = c_1P$$

$$M_h = c_2n$$

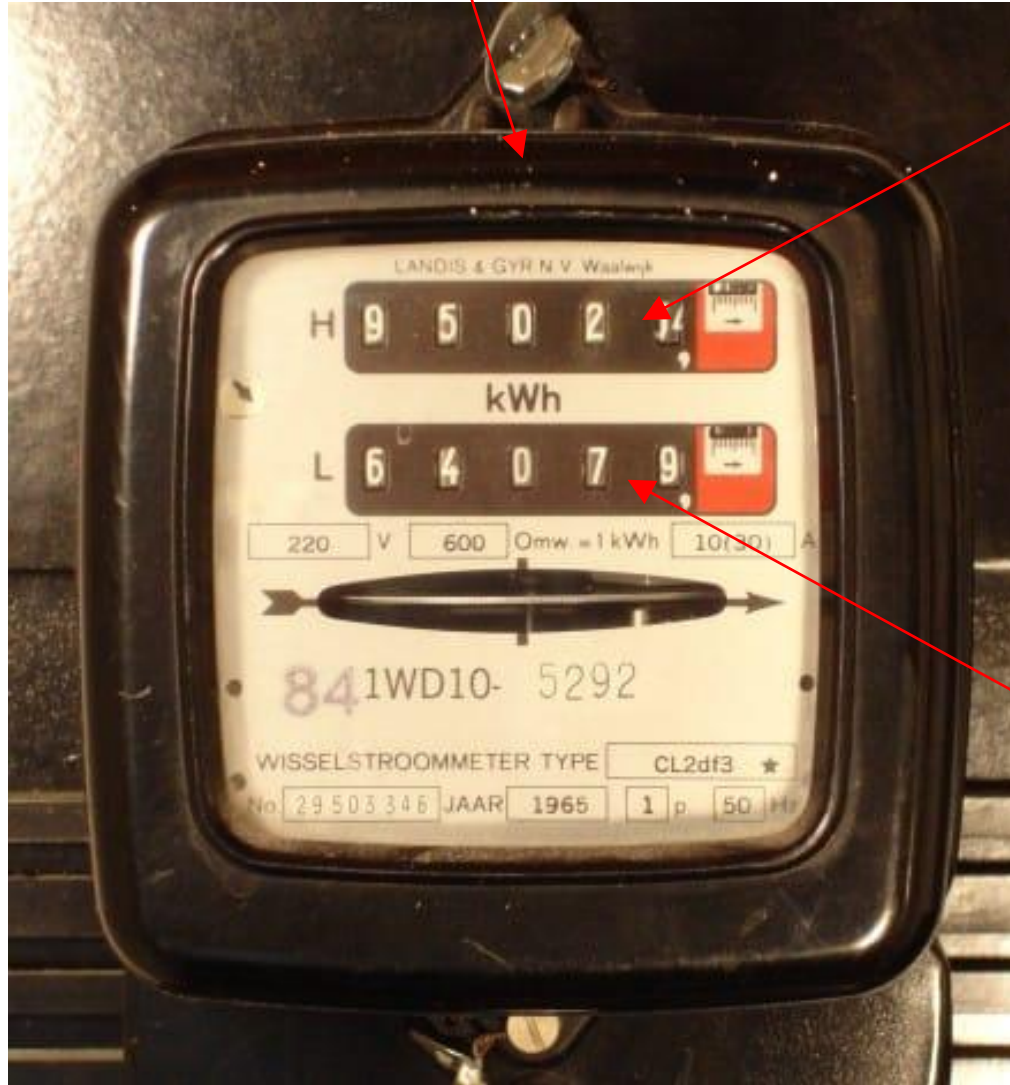
$$n = \frac{c_1}{c_2} P \longleftarrow \text{Prędkość obrotowa (kątowna)}$$

$$N = \int_0^t n dt = \frac{c_1}{c_2} \int_0^t P dt = c_L A \quad \text{Obroty (liczba)}$$

Mierniki indukcyjne

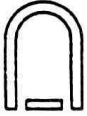
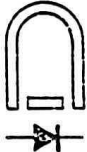



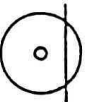

Miernik energii elektrycznej
dwutaryfowy

taryfa dzienna



taryfa nocna

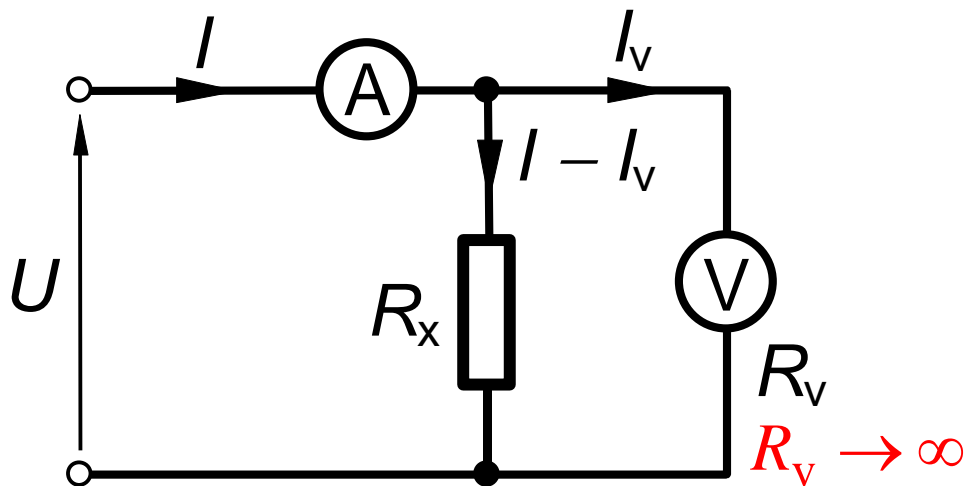
Zestawienie elektrycznych przyrządów pomiarowych

Typ przyrządu	Znak	Zasada konstrukcji	Najczęstsze zastosowanie	Rodzaj prądu
Magnetoelektryczne		magnes trwały i cewka ruchoma	galwanometry, amperomierze, woltomierze	stały
Magnetoelektryczne z prostownikiem		jak wyżej oraz prostownik	amperomierze, woltomierze	przebieenny
Magnetoelektryczne ilorazowe		magnes trwały i dwie cewki skrzyżowane	omomierze	stały
Elektromagnetyczne		stała cewka i rdzeń z miękkiego żelaza	amperomierze, woltomierze	stały i przebieenny
Elektrodynamiczne		dwie cewki, jedna stała druga ruchoma	watomierze	stały i przebieenny
Indukcyjne		tarcza obracająca się pomiędzy elektromagnesami	liczniki energii elektrycznej	przebieenny
Bimetalowe		element bimetalowy rozgrzewany prądem	amperomierze, woltomierze	stały i przebieenny

Pomiar oporu czynnego (rezystancji)

Metoda techniczna

Układ z poprawnie mierzonym napięciem



$$I_v = \frac{U}{R_v}$$

$$R_x = \frac{U}{I - I_v} = \frac{U}{I - \frac{U}{R_v}}$$

$$R_x^* = \frac{U}{I}$$

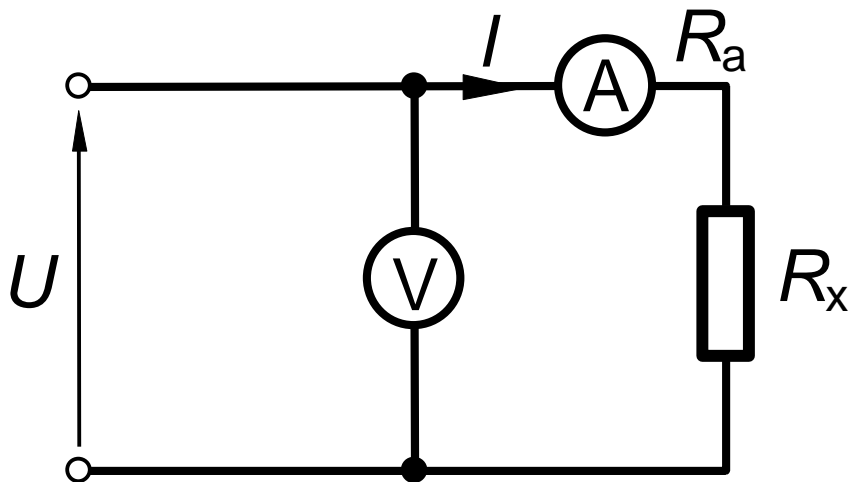
$$\delta = \frac{R_x^* - R_x}{R_x} = -\frac{R_x^*}{R_v}$$

$$R_x \ll R_v \quad \mathbf{R_x < 1.0 \Omega}$$

Pomiar oporu czynnego (rezystancji)

Metoda techniczna

Układ z poprawnie mierzonym prądem



$$R_x = \frac{U}{I} - R_a$$

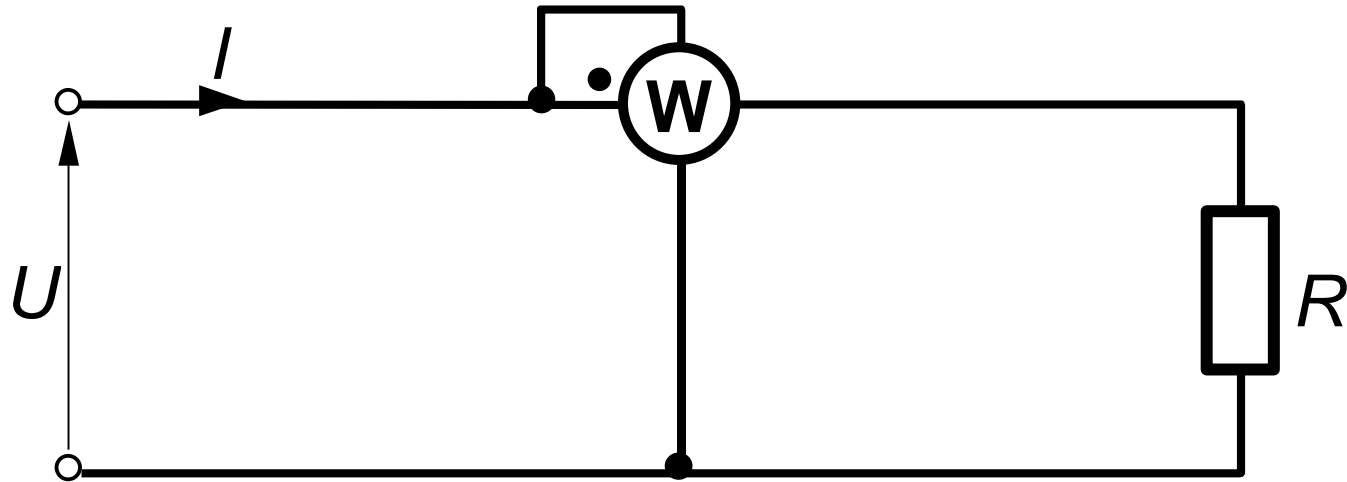
$$R_a \rightarrow 0$$

$$R_x^* = \frac{U}{I}$$

$$\delta = \frac{R_x^* - R_x}{R_x} = \frac{R_a}{R_x^* - R_a}$$

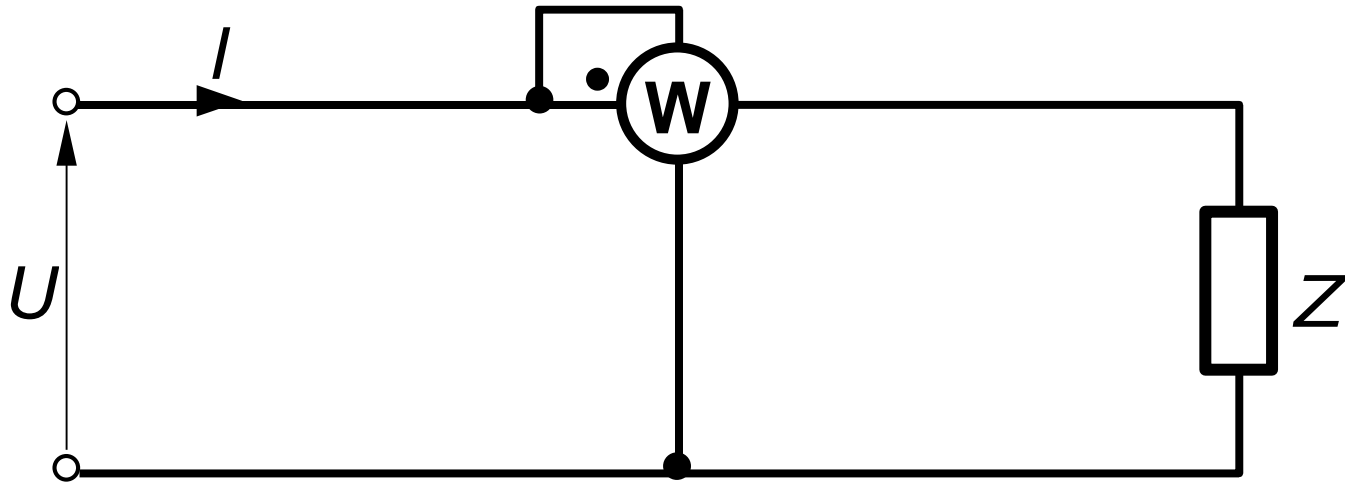
$$R_x \gg R_a \quad R_x > 1.0 \Omega$$

Pomiary mocy czynnej P , mocy pozornej S
i współczynnika mocy $\cos \varphi$
w obwodach prądu przemiennego



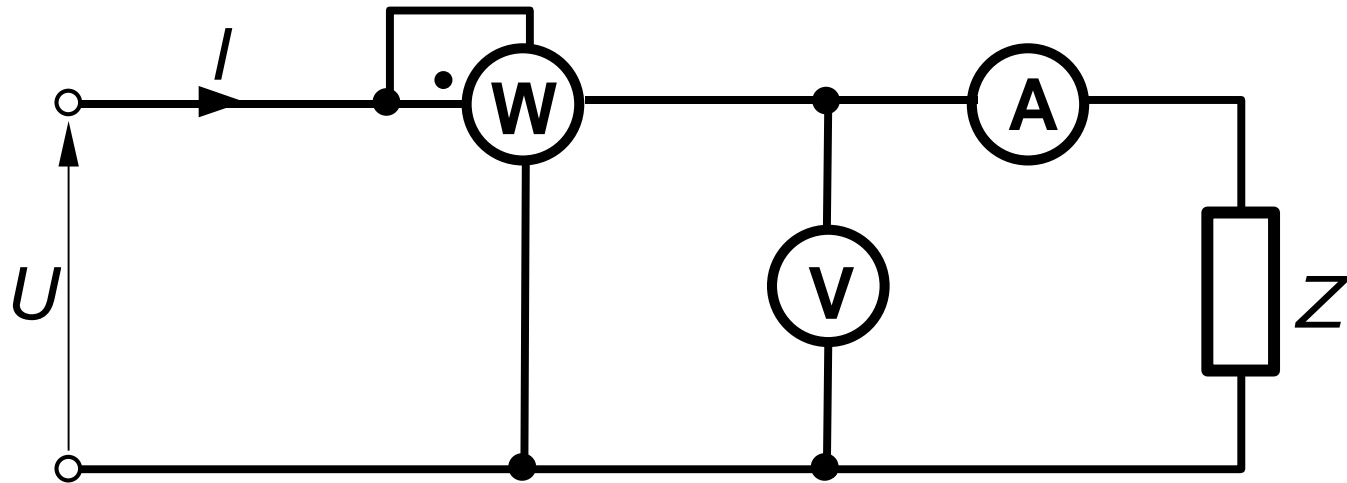
$$P = UI$$

Pomiary mocy czynnej P , mocy pozornej S
i współczynnika mocy $\cos \varphi$
w obwodach prądu przemiennego



$$P = UI \cos \varphi, \text{ ponieważ } \alpha = c_w UI \cos \varphi = c_w P$$

Pomiary mocy czynnej P , mocy pozornej S
i współczynnika mocy $\cos \varphi$
w obwodach prądu przemiennego



$$P = UI \cos \varphi, \quad S = UI \quad \wedge \quad \cos \varphi = \frac{P}{S}$$