

Przyrządy Pomiarowe (Miernictwo)

Materiały dla klasy II-giej Technikum Zaocznego
o specjalności elektronika

Opracowanie : Ludwik Musiał

Literatura :

S.Lebson , J.Kaniewski – Pomiarы elektryczne

J.Rydzewski – Oscyloskop elektronowy

Z.Kulka , A.Libura , M.Nadachowski – Przetworniki

analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe

M.Łapiński – Pomiarы elektryczne i elektroniczne wielkości nieelektrycznych

J.Dyszyński – Laboratorium miernictwa wielkości nieelektrycznych

A.Sowiński – Cyfrowa Technika Pomiarowa

Z.Karkowski , J.Nowaczyk – Miernictwo cyfrowe

R.J.Rak – Wirtualne przyrządy pomiarowe

J.S.Olędzki – Multimetry – stan dzisiejszy i rozwój

K.Jemielniak – Materiały politechniki Warszawskiej

Dokumentacja techniczna : oscyloskopów , mierników i układów scalonych
oraz ich aplikacje i zastosowanie

Miernictwo elektryczne

Metrologia - dziedzina wiedzy zajmująca się zagadnieniami teoretycznymi i praktycznymi dotyczącymi pomiarów (niezależnie od ich dokładności).

Pomiar - czynność doświadczalna mająca na celu wyznaczenie wartości określonej wielkości.

iloczyn liczby i jednostki miary danej wielkości

właściwość ciała lub zjawiska, którą można wyznaczyć jakościowo i ilościowo

wartość liczbowa danej wielkości, przyjęta umownie jako równa jedności

oznaczenie jednostki -
- znak umowny

Metoda pomiarowa - sposób porównania wielkości mierzonej ze wzorcem miary danej wielkości.

metody bezpośrednie

metody pośrednie

Miernik - przyrząd pomiarowy, który za pomocą jednego wskazania określa wartość wielkości mierzonej.

Legalizacja (sprawdzenie)
Przyrządów pomiarowych

przyrządy robocze

przyrządy kontrolne

Wzorce wyższych rzędów:
Etalony państwowe:
Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości

Układ SI

Punktem wyjścia dla stosowanego układu jednostek są **jednostki podstawowe**.

Nie da się jednej jednostki podstawowej otrzymać z drugiej jednostki podstawowej za pomocą jakiegoś wzoru. Poza tym każda jednostka podstawowa jest ustalana w oparciu fizycznie istniejące ciało, lub doświadczenie.

Układ SI często jest nazywany układem MKS. Wynika to z faktu, że jego podstawowymi jednostkami związanymi z mechaniką są **Metr**, **Kilogram**, **Sekunda**. W odróżnieniu od niego w rzadko dziś używanym układzie CGS jednostką długości był **Centymetr** (zamiast metra), a jednostką masy **Gram** (zamiast kilograma) i tylko sekunda była wspólną jednostką w obu typach układów.

Jednostki podstawowe układu SI

Nazwa wielkości	nazwa jednostki	skrót literowy
długość	metr	m
masa	kilogram	kg
czas	sekunda	s
natężenie prądu	amper	A
temperatura	kelwin	K
ilość substancji	mol	mol
światłość źródła światła	kandela	cd

Jednostki logarytmiczne – poziom (np. napięcia, prądu ,wzmocnienia)

Poziom bezwzględny

Odniesiony do mocy odniesienia 1 mW wydzielonej na rezystancji 600 Ω

To odpowiada

$$P_o = 1 \text{ mW} , U_o = 0,775 \text{ V} , I_o = 1,29 \text{ mA}$$

Poziom bezwzględny

$$\underline{A_o = 20 \log U_x / U_o \text{ [dB] lub [dBm]}}$$

Poziom względny

występuje gdy określamy stosunki dwu napięć np..(na wejściu i wyjściu wzmacniacza)

$$\text{Poziom względny} \quad A = 20 \log U_{wyj} / U_{wej} \text{ [dB]}$$

Definicje wielkości podstawowych

1 metr jest równy drodze jaką przebywa w próżni światło w ciągu czasu $1/299792458$ sekundy.

1 sekunda jest to czas równy 9 192 631 770 okresom promieniowania związanego z przejściem między dwoma nadsubtelnymi poziomami stanu podstawowego atomu cezu Cs - 133.

1 kilogram jest masą międzynarodowego wzorca kilograma

1 kelwin jest to jednostka temperatury termodynamicznej równa $1/273,16$ temperatury termodynamicznej punktu potrójnego wody.

1 amper jest to natężenie takiego prądu stałego, który płynąc w dwu nieskończenie długich, nieskończenie cienkich przewodach prostoliniowych umieszczonych równolegle w próżni w odległości 1 m od siebie wywołałby między nimi siłę magnetyczną o wartości 2×10^{-7} N na każdy metr długości przewodnika.

1 kandela jest to światłość jest to światłość, jaka ma w danym kierunku źródło emitujące monochromatyczne promieniowanie o częstotliwości $540 \cdot 10^{12}$ Hz i mające w tym kierunku wydajność energetyczną $1/683$ W/Sr

1 mol jest to ilości materii zawierającej tyle samo elementów ile jest atomów zawartych w 0,012 kg czystego nuklidu węgla C-12.

Jednostki dodatkowe stosowane w pomiarach elektrycznych

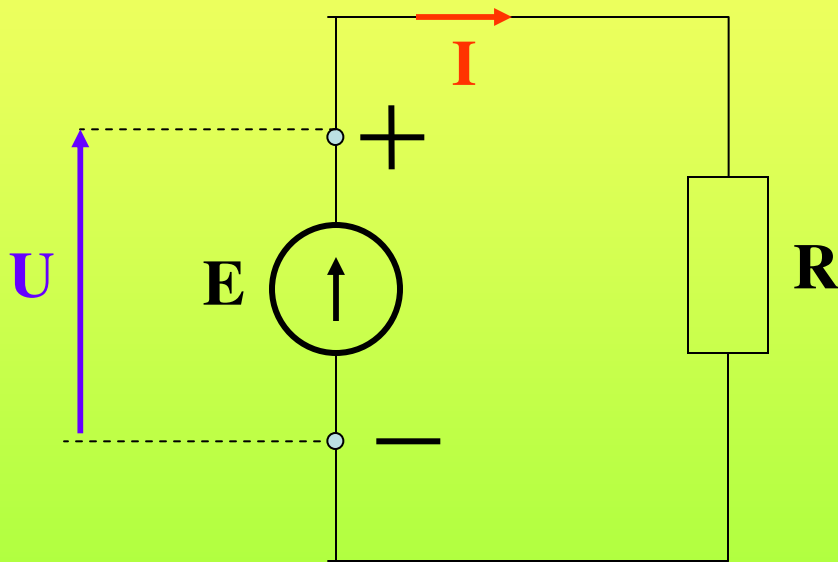
Wielkość	Nazwa	Symbol	Jednostka	Wymiar
Częstotliwość	herc	Hz		s^{-1}
Siła	niuton	N		$kg\ m/s^2$
Ciśnienie	paskal	Pa	N/m^2	kgm^{-1}/s^2
Energia, praca	dżul	J	$N\ m$	$kg\ m^2/s^2$
Moc	wat	W	J/s	$kg\ m^2/s^3$
Ładunek elektryczny	kulomb	C		$A\ s$
Napięcie elektryczne	wolt	V	$J/C, W/A$	$kg\ m^2\ s^{-3}\ A^{-1}$
Natężenie pola elektrycznego	wolt na metr		$V/m, N/C$	$kg\ m\ s^{-3}\ A^{-1}$
Pojemność elektryczna	farad	F	C/V	$kg^{-1}\ m^{-2}\ s^4\ A^2$
Opór elektryczny	om	Ω	V/A	$kg\ m^2\ s^{-3}\ A^{-2}$
Przewodność elektryczna	simens	S	$1/\Omega$	$kg^{-1}\ m^{-2}\ s^3\ A^2$
Strumień magnetyczny	weber	Wb	$V\ s$	$kg\ m^2\ s^{-2}\ A^{-1}$
Indukcja magnetyczna	tesla	T	Wb/m^2	$kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
Natężenie pola magnetycznego	amper na metr		A/m	A/m
Indukcyjność magnetyczna	henr	H	Wb/A	$kg\ m^2\ s^{-2}\ A^{-2}$
Temperatura Celsiusa	stopień Celsiusa	$^{\circ}C$		K
Strumień świetlny	lumen	lm		cd sr
Natężenie oświetlenia	luks	lx	lm/m^2	$cdsr/m^2$

Źródło energii

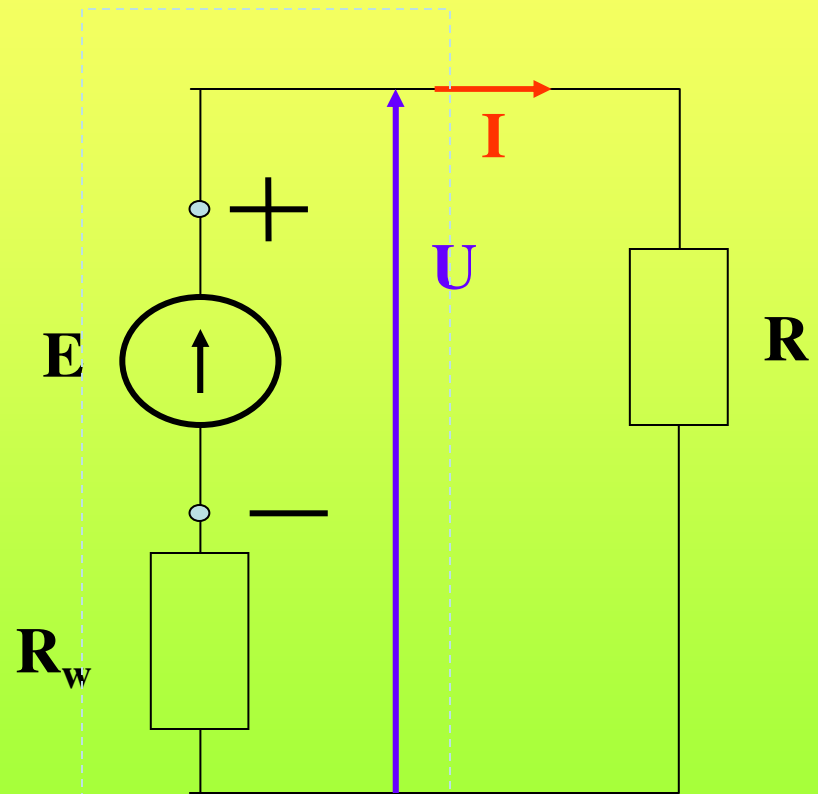
Rozróżniamy dwa rodzaje źródeł energii elektrycznej:

- źródło napięcia
- źródło prądu

Idealne i rzeczywiste źródło napięcia

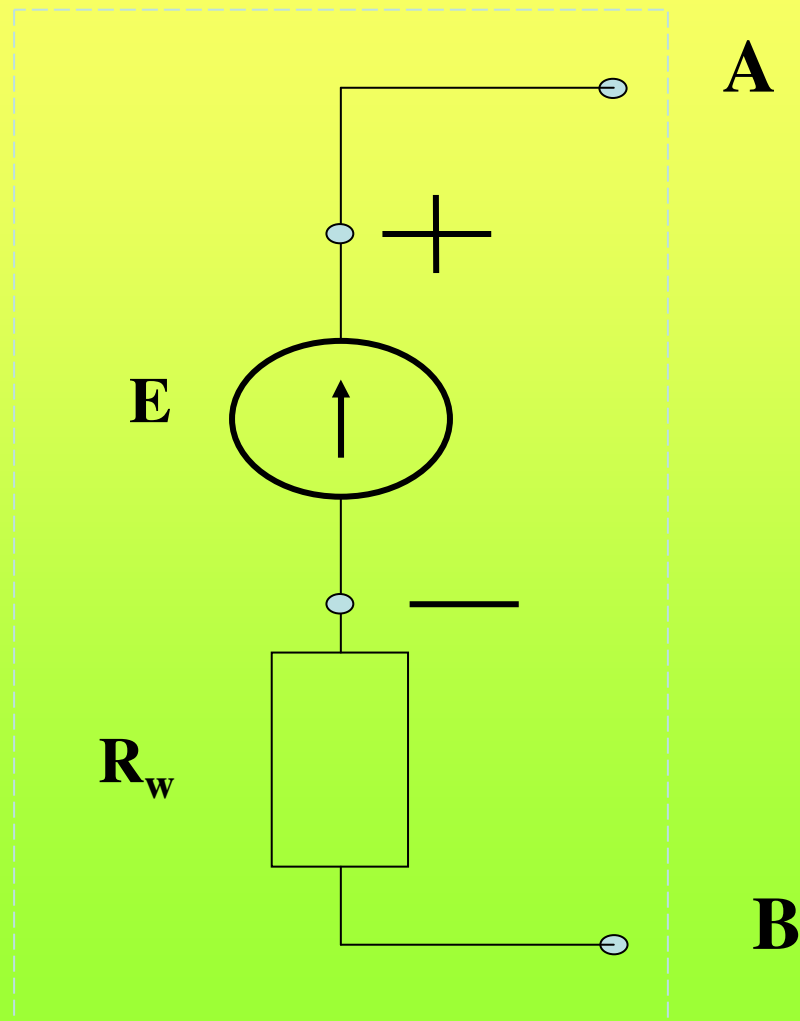


$$R_w = 0$$



$$R_w \neq 0$$

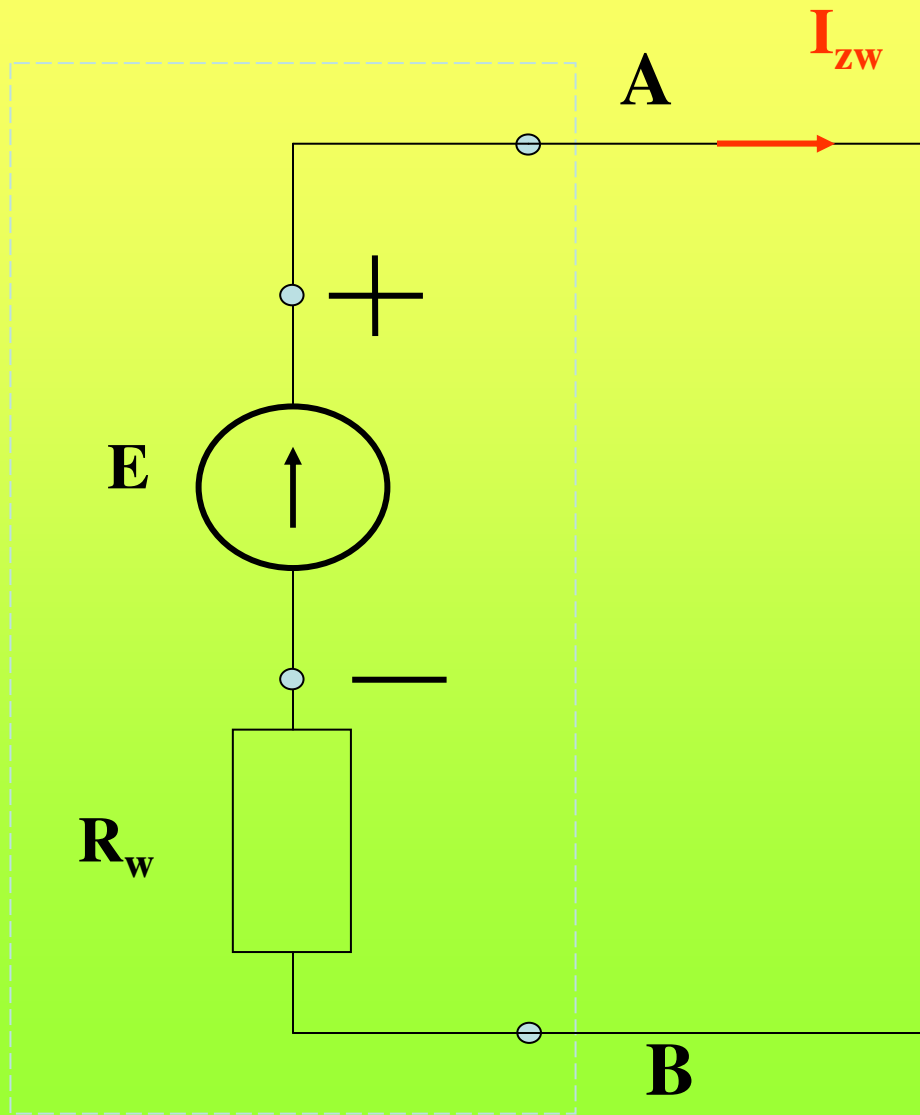
Stan jałowy źródła napięcia



$$I = 0$$

$$U = E$$

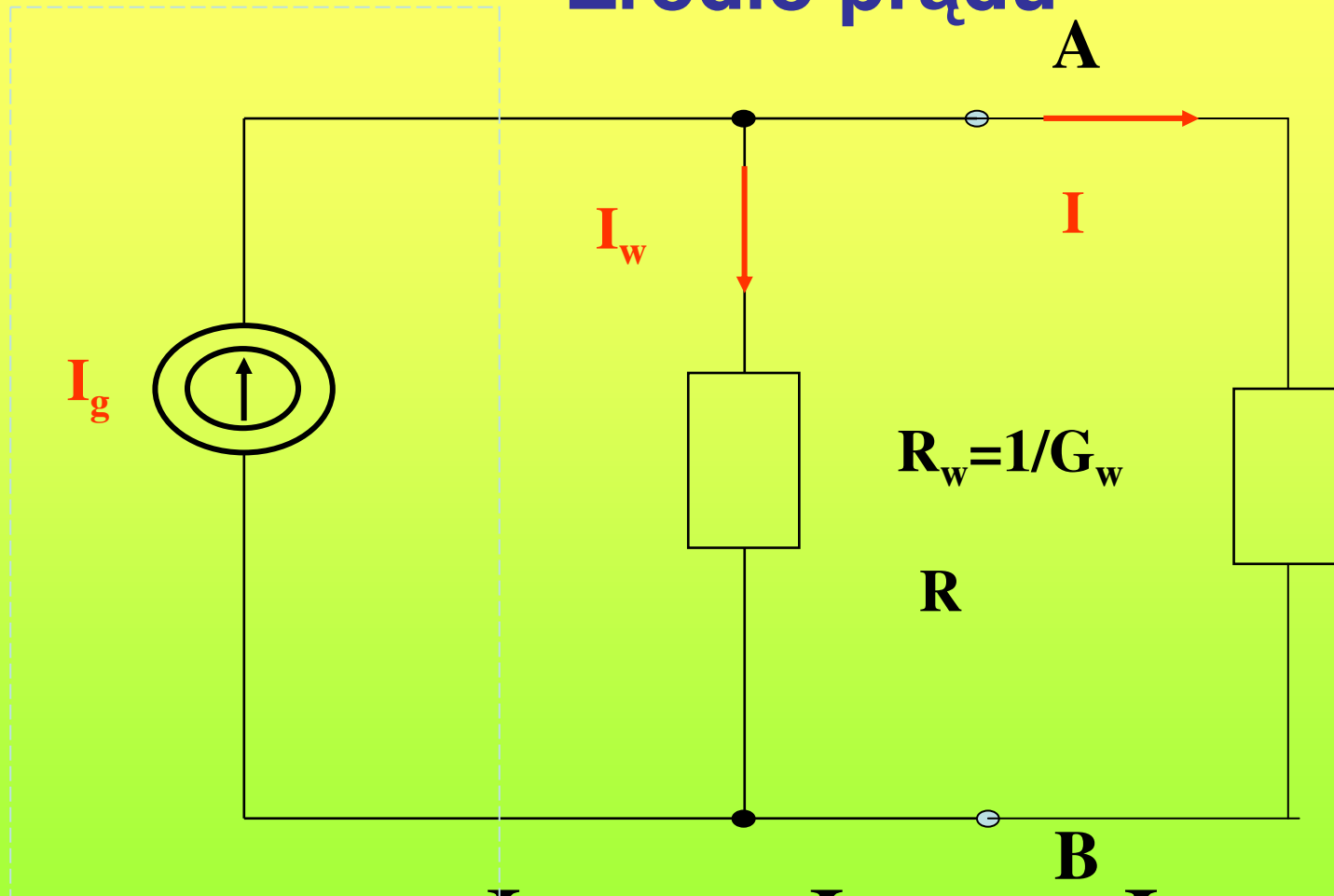
Stan zwarcia źródła napięcia



$$U = 0$$

$$I_{zw} = \frac{E}{R_w}$$

Źródło prądu

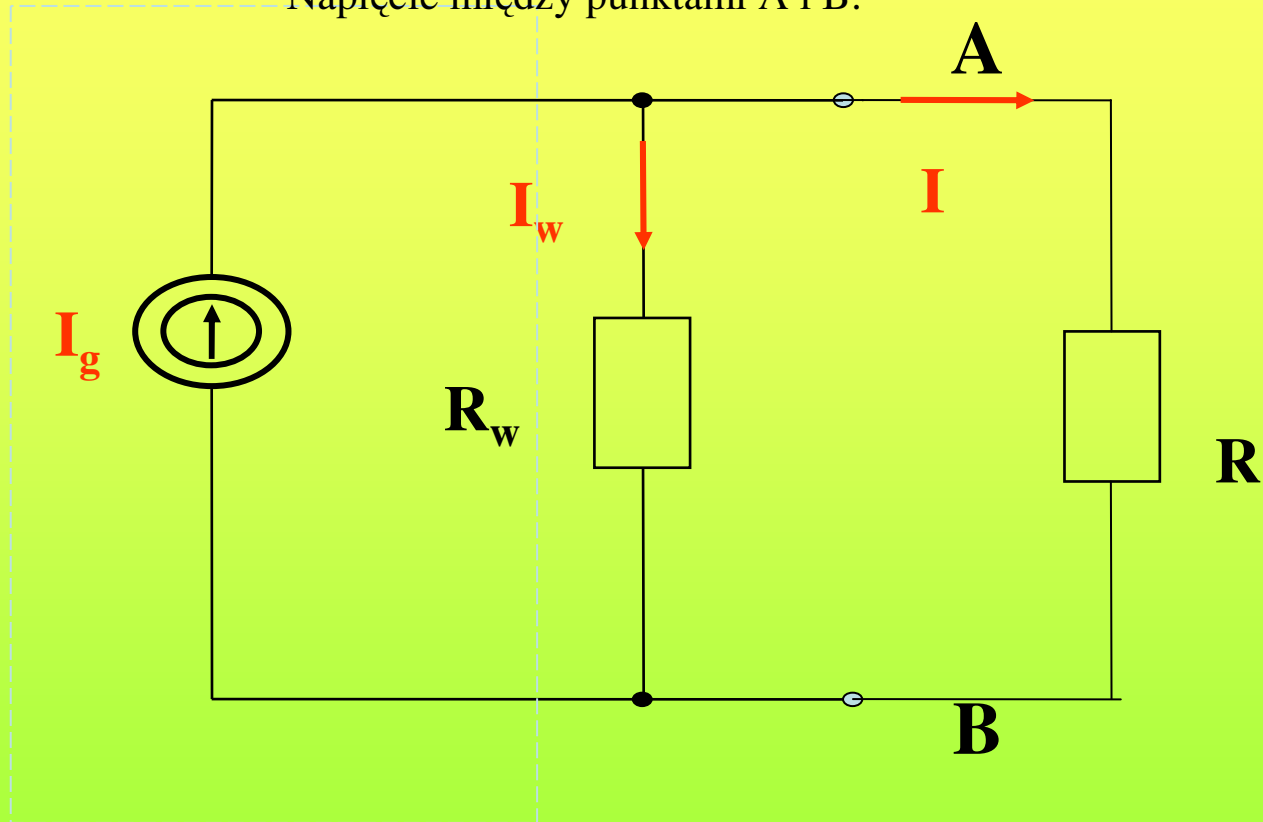


$$I_g = I_w + I$$

idealne źródło prądu

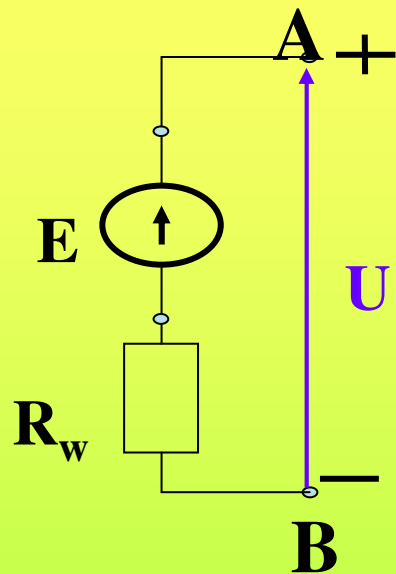
Źródło prądu

Napięcie między punktami A i B:



$$R_w I_w = R_w G_w U = U$$

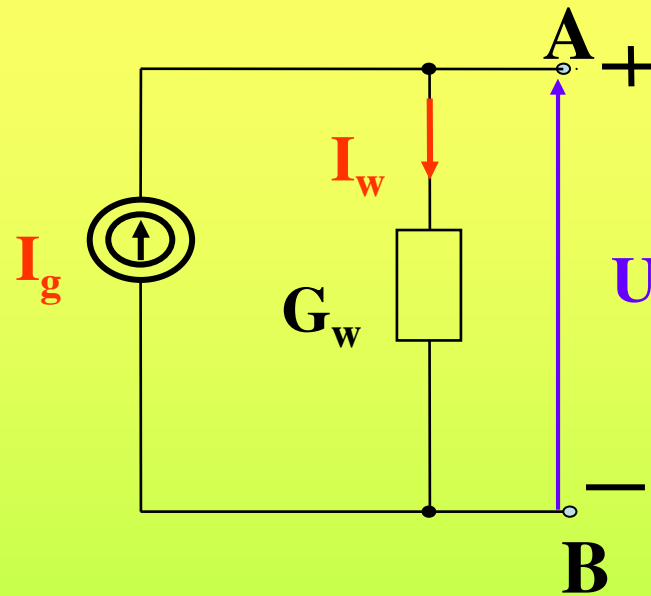
Źródło napięcia i źródło prądu



$$E = R_w I + U$$

$$I = \frac{E}{R + R_w}$$

$$U = E - R_w I$$

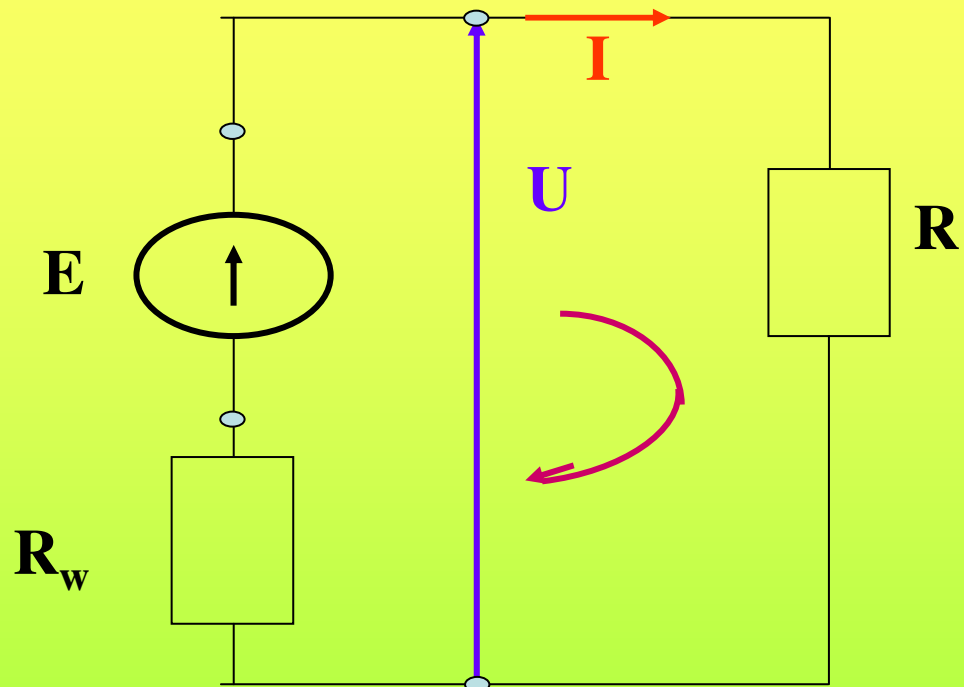


$$I_g = I_w + I$$

$$I = I_g \frac{G}{G + G_w}$$

$$I_g = G_w U$$

Sprawność w obwodzie elektrycznym



$R_w I^2$ - moc tracona na oporności źródła

RI^2 - moc wykorzystana w odbiorniku

Dopasowanie odbiornika do źródła

Odbiornik jest dopasowany do źródła, gdy pobiera z tego źródła największa moc.

Prąd płynący w odbiorniku dopasowanym do źródła:

$$I = \frac{E}{2 R_w}$$

Sprawność obwodu z odbiornikiem dopasowanym do źródła:

$$\eta = \frac{R}{R_w + R} = \frac{R_w}{R_w + R_w} = 0,5$$

Impedancja falowa

Jest to parametr linii (lub czwórników) i określa jego własności przesyłowe
Dla linii stratnej:

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

Dla linii bezstratnej

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Impedancję falową można obliczyć ze wzoru:

$$Z_c = \sqrt{Z_o Z_z}$$

Z_o - impedancja w stanie jałowym

Z_z – impedancja w stanie zwarcia

Widać z powyższych wzorów, że impedancja falowa nie jest zależna od długości linii ale od parametrów konstrukcyjnych i budowy.

Dla toru (linii przesyłowej) gdy

$$Z_{ob.} = Z_c$$

linia jest dopasowana falowo

i nie występują odbicia, a iloraz napięcia do prądu w każdym punkcie toru jest równy impedancji falowej.

Mierniki

Klasa dokładności miernika - wg normy PN-71/N-02050
kategoria mierników o określonych właściwościach,
zwłaszcza dotyczących dokładności.

W polse stosuje się 8 klas dokładności:

0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 5.

mierniki laboratoryjne mierniki techniczne

Błąd podstawowy miernika - graniczny dopuszczalny błąd
wskazań miernika określony jego klasą dokładności.
Wyrażony w procentach górnej granicy zakresu
pomiarowego miernika lub długości podziałki.

Błąd bezwzględny Δ miernika -

- różnica między wartością wskazaną przez miernik i wartością rzeczywistą wielkości mierzonej.

$$\Delta = W_w - W_r$$

Poprawka p -

- błąd bezwzględny ze znakiem przeciwnym.

$$W_r = W_w + p$$

Błąd względny δ miernika -

- błąd wyrażony w stosunku do wartości końcowej W_{max} zakresu pomiarowego.

$$\delta = \frac{\Delta}{W_{max}} = \frac{W_w - W_r}{W_{max}} \cdot 100\%$$

Mierniki

Zakres pomiarowy - wskazanie miernika otrzymane w warunkach znamionowych użytkowania nie powinno być obciążone błędem większym od granicznego błędu dopuszczalnego.

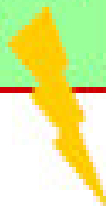
Warunki znamionowe użytkowania miernika - warunki, na które miernik został skonstruowany i które powinny być przestrzegane celem zapewnienia poprawnych wskazań miernika.



Pomiar napięcia stałego

Sprawdzenie obecności napięcia

Wskaźniki żarówkowe
($P \leq 15W$, U_N)
[stłuczenie żarówki, zwarcie]
→ łuk elektryczny



Pomiar napięcia

- Woltomierze magnetoelektryczne;
- Woltomierze elektrostatyczne;
- Woltomierze elektroniczne:
 - -wskazówkowe (analogowe),
 - -cyfrowe;
- Kompensatory.

Woltomierz magnetoelektryczny -

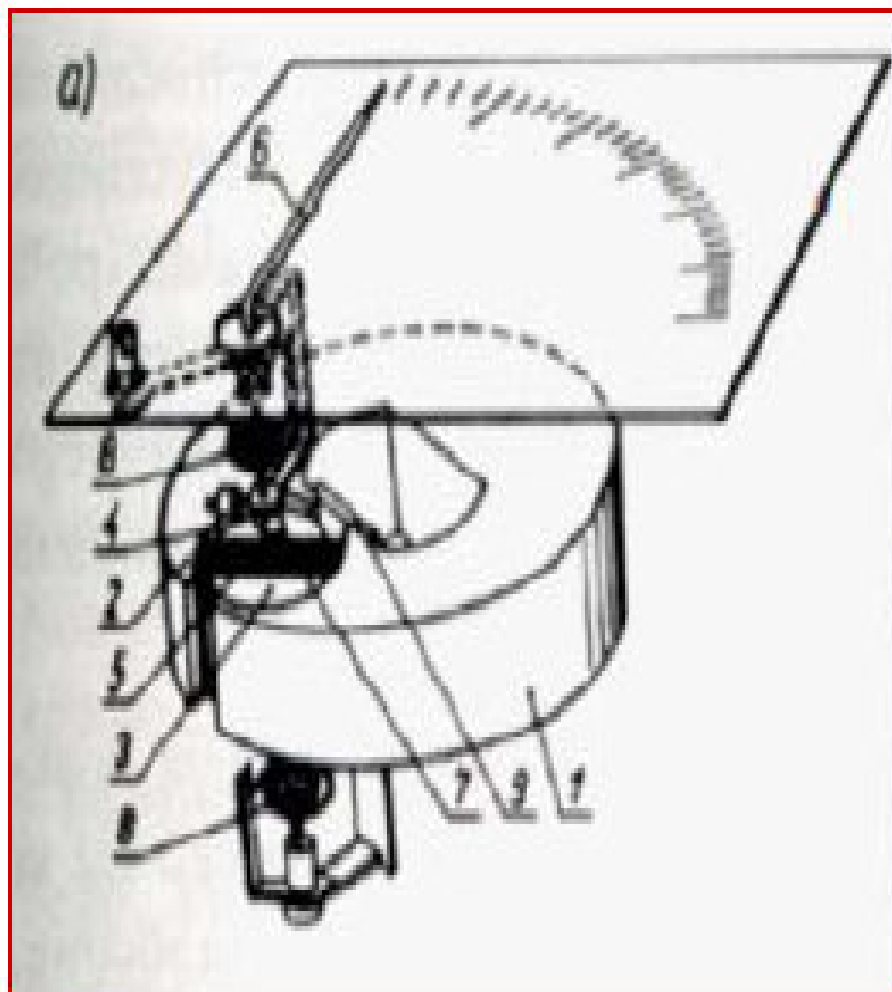
Cewka ruchoma (zwoje z cienkiego drutu miedzianego) w szczelinie pomiędzy rdzeniem z miękkiej stali a biegunami silnego magnesu trwałego. Do cewki przymocowane są dwa stalowe czopy wyznaczające oś obrotu, spiralne sprężyny i wskazówka.

Prąd doprowadzony do cewki za pomocą sprężyn.

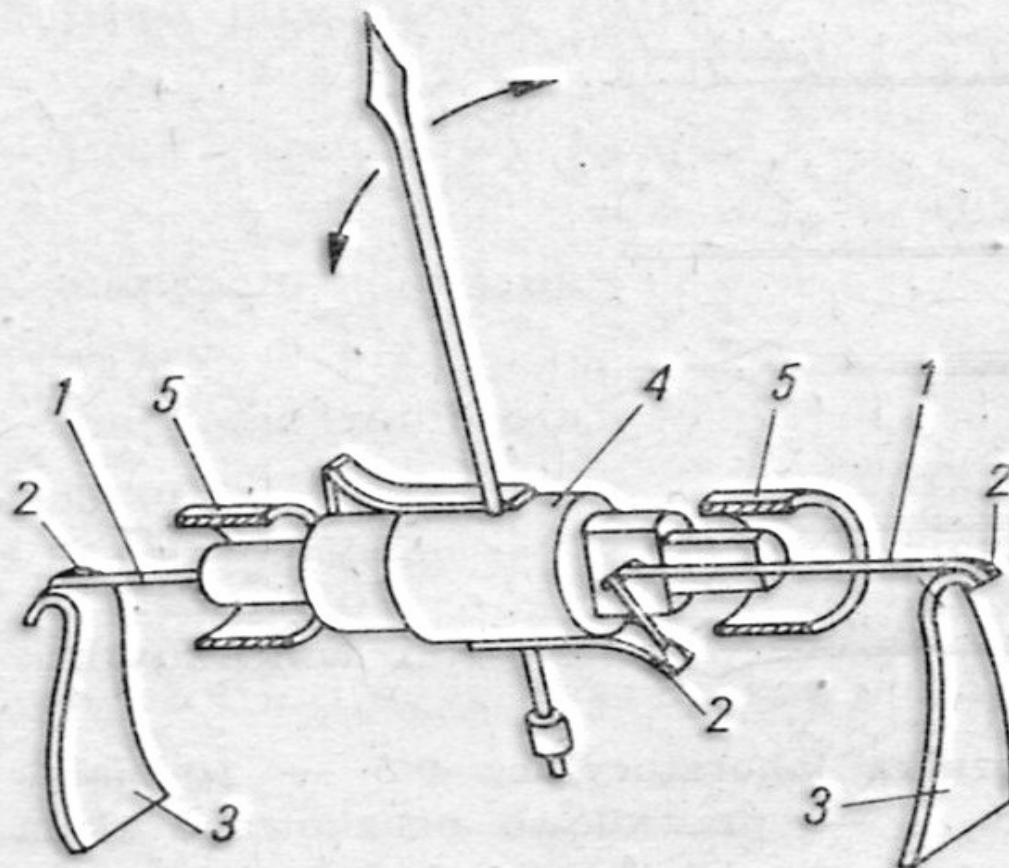
Pole magnesu działające na cewkę z prądem wytwarza moment napędowy proporcjonalny do prądu.

Odchylenie wskazówki - zrównanie momentu napędowego z momentem zwracającym sprężyn.

Zakres zależy od rezystancji wewnętrznej miernika oraz szeregowo dołączonej rezystancji.



- 1) magnes trwały
- 2) nabiegunniki
- 3) rdzeń
- 4) szczelina powietrzna
- 5) cewka
- 6) wskazówka
- 7) masy równoważące
- 8) sprężyny
- 9) bocznik



Zawieszenie taśmowe organu ruchomego
 1 — taśma, 2 — miejsce umocowania taśmy, 3 — sprężyna
 naciągająca taśmę, 4 — organ ruchomy, 5 — pierścień
 zabezpieczający

2.3. Oznaczenia na skalach przyrządów

Dla ułatwienia użytkownikom orientacji co do właściwości przyrządów pomiarowych przepisy polskie przewidują umieszczanie na skalach, względnie na obudowach mierników następujących oznaczeń i symboli:

1. nazwa lub znak wytwórni
2. numer fabryczny
3. rok produkcji
4. oznaczenie jednostki wielkości mierzonej (np. A lub V)
5. symbol ustroju pomiarowego

np. dla mierników magnetoelektrycznych znak: 

6. klasa dokładności

7. symbol rodzaju prądu, np. prąd stały: 

8. częstotliwość znamionowa lub znamionowy zakres częstotliwości

9. symbol ustawienia miernika

np. poziome położenie pracy: 

10. oznaczenie napięcia probierczego jakim sprawdzano wytrzymałość dielektryczną izolacji

np. 2 kV: cyfra 2 w gwiazdce: 

11. normalna temperatura otoczenia (jeżeli różni się od 20°C)

12. przekładnia przekładnika (w przypadku mierników na prąd zmienny przeznaczonych do pracy z przekładnikami).

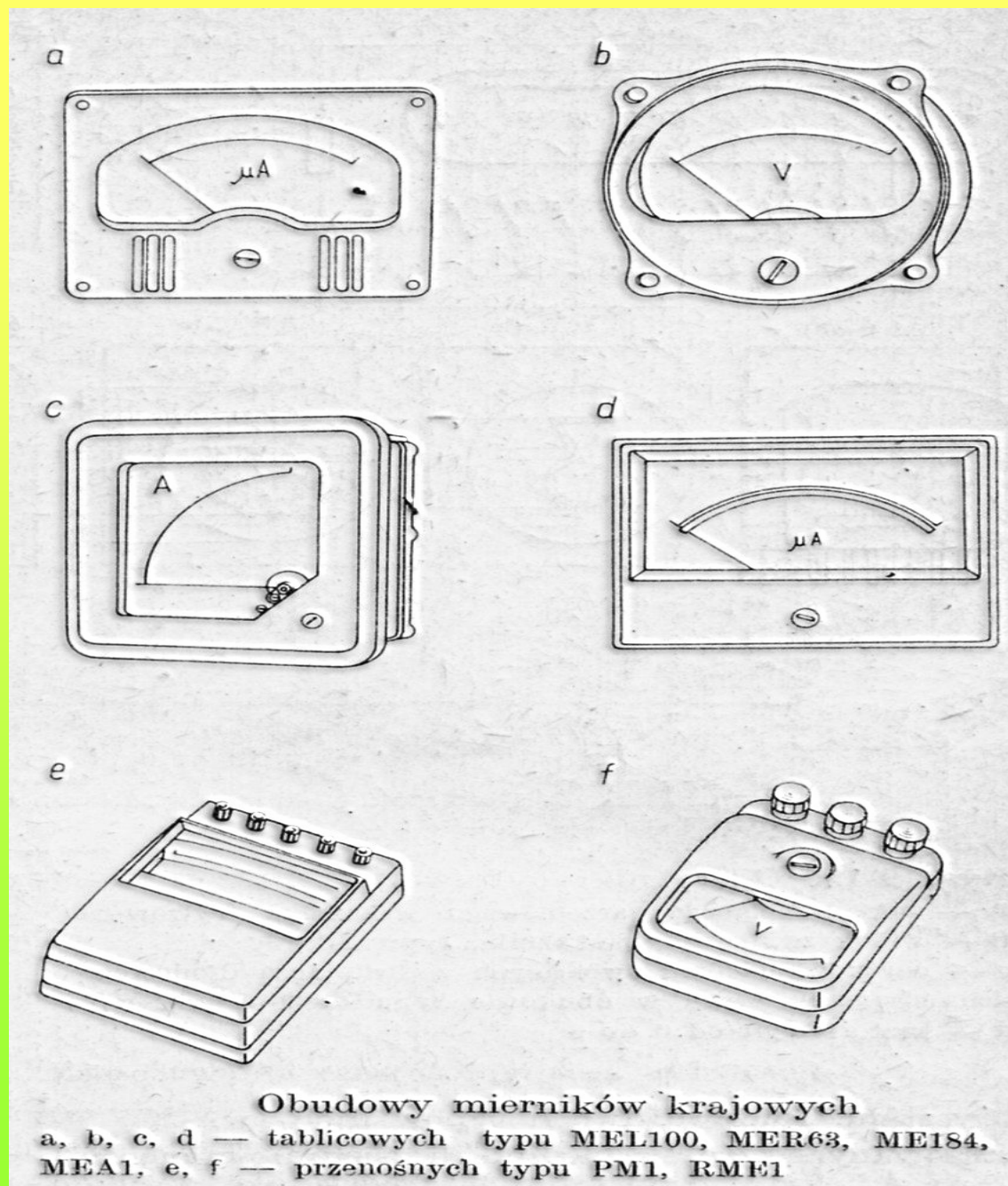
PRZYKŁAD oznaczenia na skali miernika wskazówkowego:



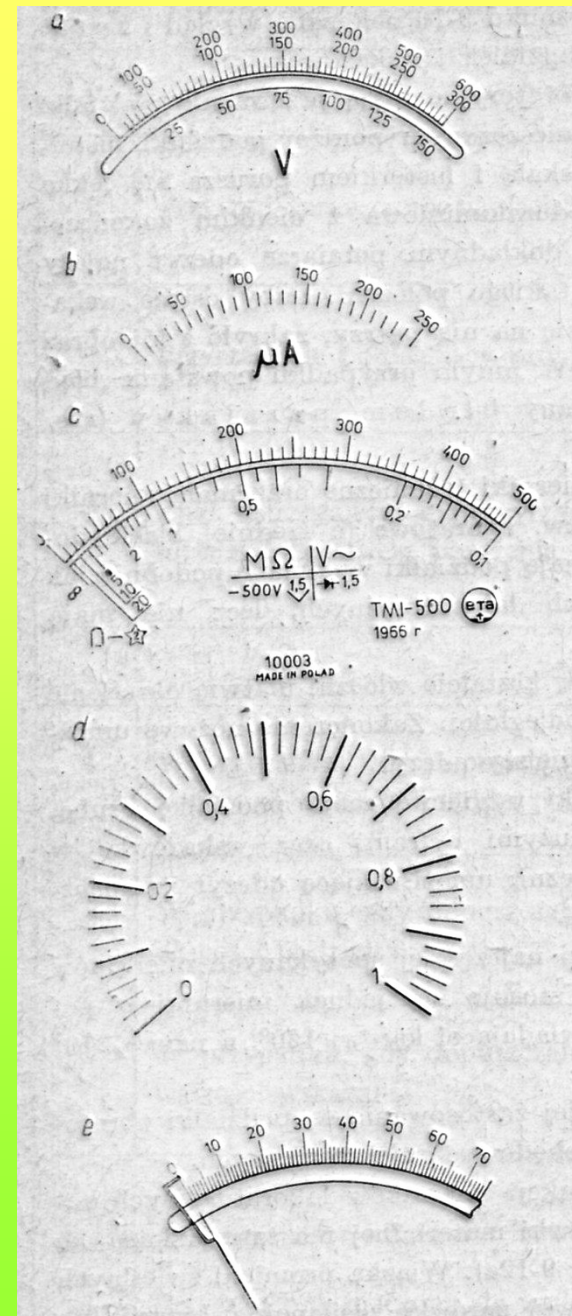
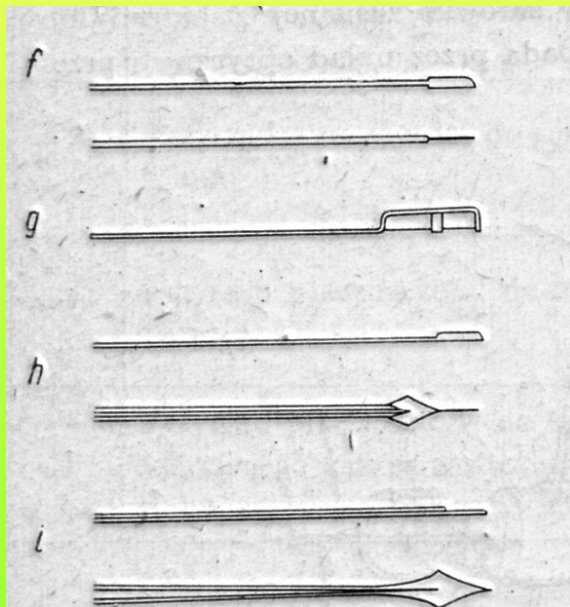
Symbole te oznaczają, że:

Jest to przyrząd magnetoelektryczny, przeznaczony do pomiarów o obwodach prądu stałego, do pracy w pozycji poziomej, o klasie dokładności 0,5, którego izolacja elektryczna była sprawdzana napięciem probierczym 2 kV.

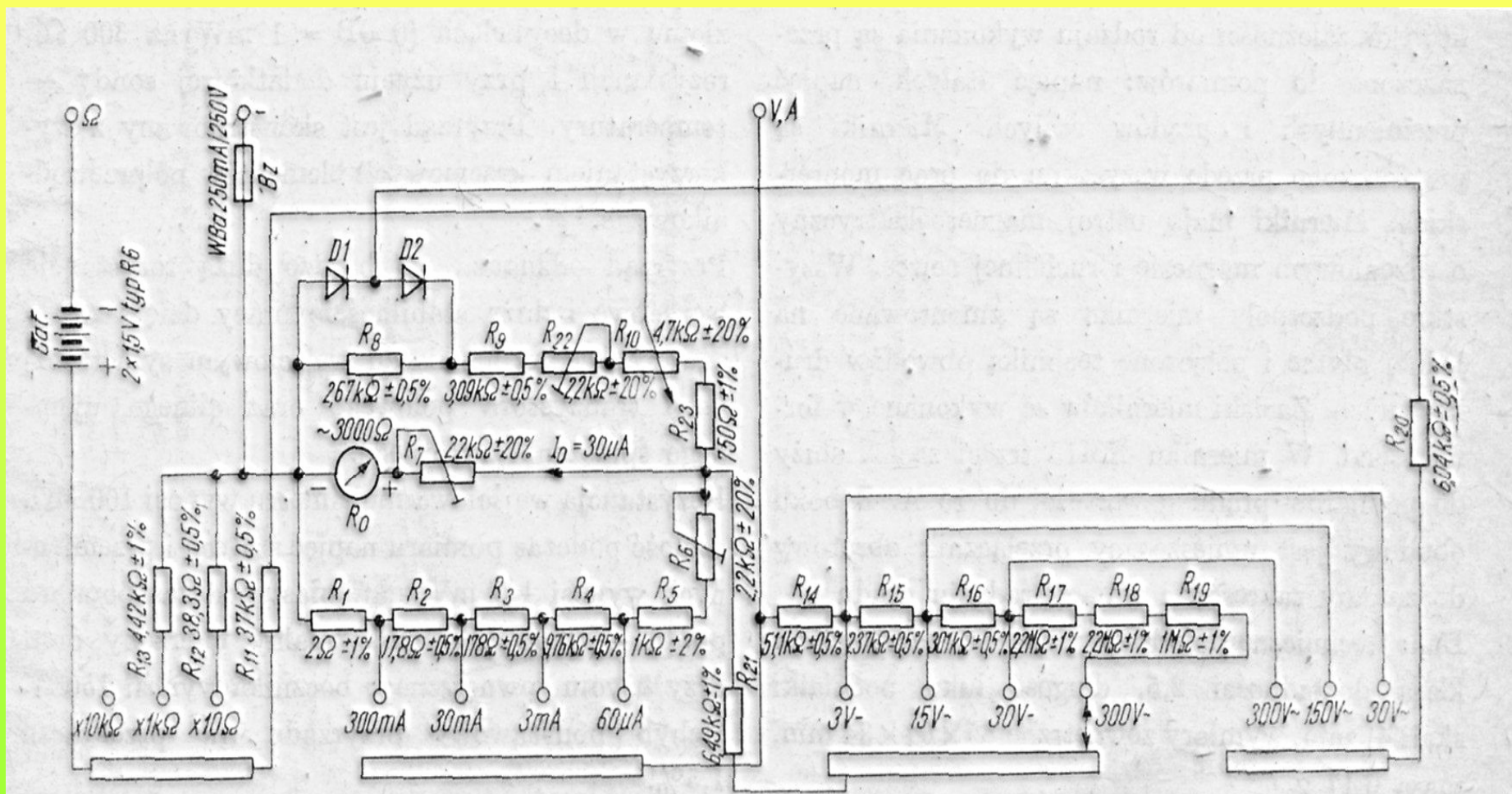
Obudowy mierników



Skale i wskazówki



Układ miernika wielozakresowego prostownikowego UM-200



Rys. 9-83. Schemat ideowy miernika uniwersalnego UM-200. (wg MERA ZSM)

Pomiar napięcia stałego

Woltomierz elektrostatyczny -

Podstawą działania są siły występujące między okładkami kondensatora.

W zależności od przyłożonego napięcia zmienia się:

- odległość między okładkami;
- powierzchnia czynna elektrod.

Nie pobiera prądu.

Pomiary napięcia stałego ($R_w \rightarrow \infty$)

Pomiary napięcia przemiennego (pobiera bardzo mały prąd pojemnościowy) ↑

Woltomierz elektroniczny -

R_w od $10M\Omega$ do ponad $100M\Omega$.

Klasy dokładności od 1,5 do 5.

Do kilkunastu zakresów pomiarowych.

Woltomierze cyfrowe -

- porównanie napięcia mierzonego z napięciem wzorcowym (np. metodą podwójnego całkowania).

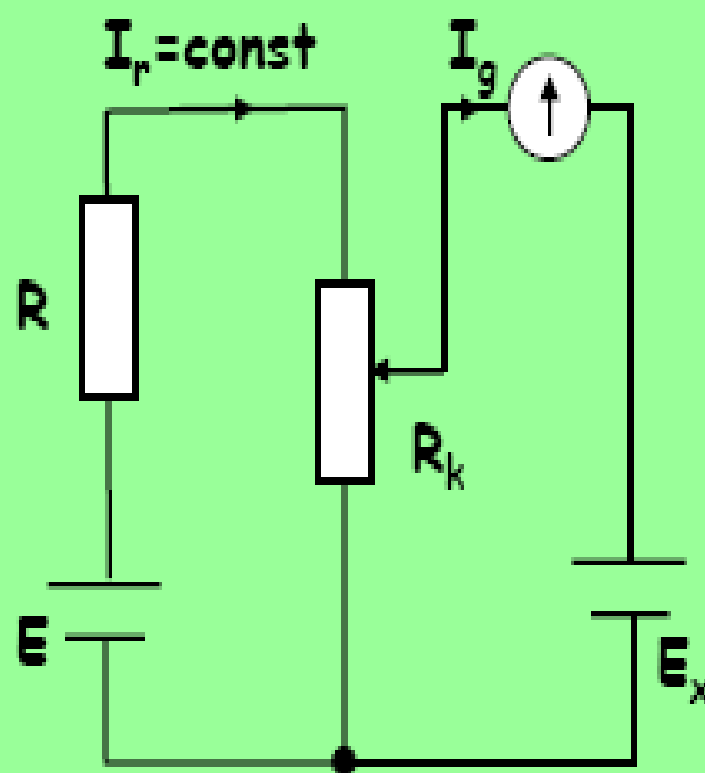
Kompensatory napięcia stałego-

Metoda kompensacyjna -

- zrównanie wartości wzorcowej z wartością mierzoną.

$$E_x = I_r R_k$$

Nie pobierają prądu
z obwodu mierzonego.



Pomiar napięcia przemiennego

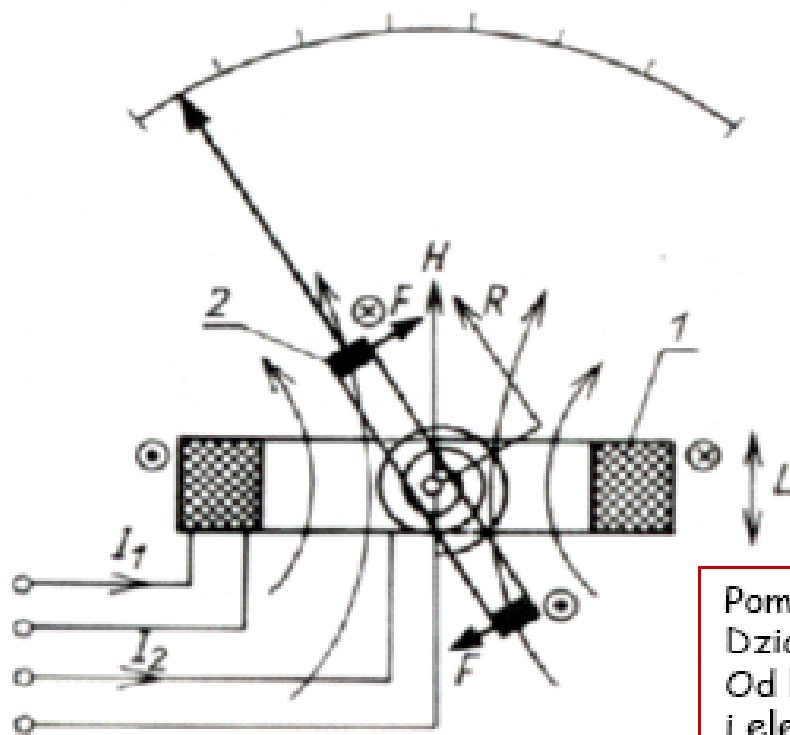
Woltomierz elektrodynamiczny -

Cewka nieruchoma i ruchoma (osadzona na osi).

Do obu cewek połączonych szeregowo doprowadza się prąd.

Do cewki ruchomej wpływa on przez dwie spiralne sprężyny.

Dynamiczne działanie prądu w cewkach powoduje obrót cewki ruchomej z przymocowaną do niej wskazówką.



1- cewka nieruchoma

2- cewka ruchoma

I_1, I_2 - prądy zasilające

F - siła oddziaływania

H - natężenie pola magnetycznego

R - korektor zera

Pomiar napięcia stałego i przemiennego.
Działanie niezależne od biegunowości napięcia.
Od lat zastąpione elektromagnetycznymi
i elektronicznymi.

Mierniki elektrodynamiczne.

Miernikami elektrodynamicznymi nazywamy mierniki, których odchylenie organu ruchomego następuje w wyniku oddziaływania elektrodynamicznego dwóch cewek, przez które płyną prądy.

Cewka ruchoma osadzona na osi, do której jest przymocowana wskazówka, znajduje się wewnątrz cewki nieruchomej. W wyniku oddziaływania elektrodynamicznego cewek powstają siły wytwarzające moment napędowy. Moment ten jest równoważony przez moment zawierający dwóch sprężynek spiralnych, doprowadzających jednocześnie prąd do cewki ruchomej.

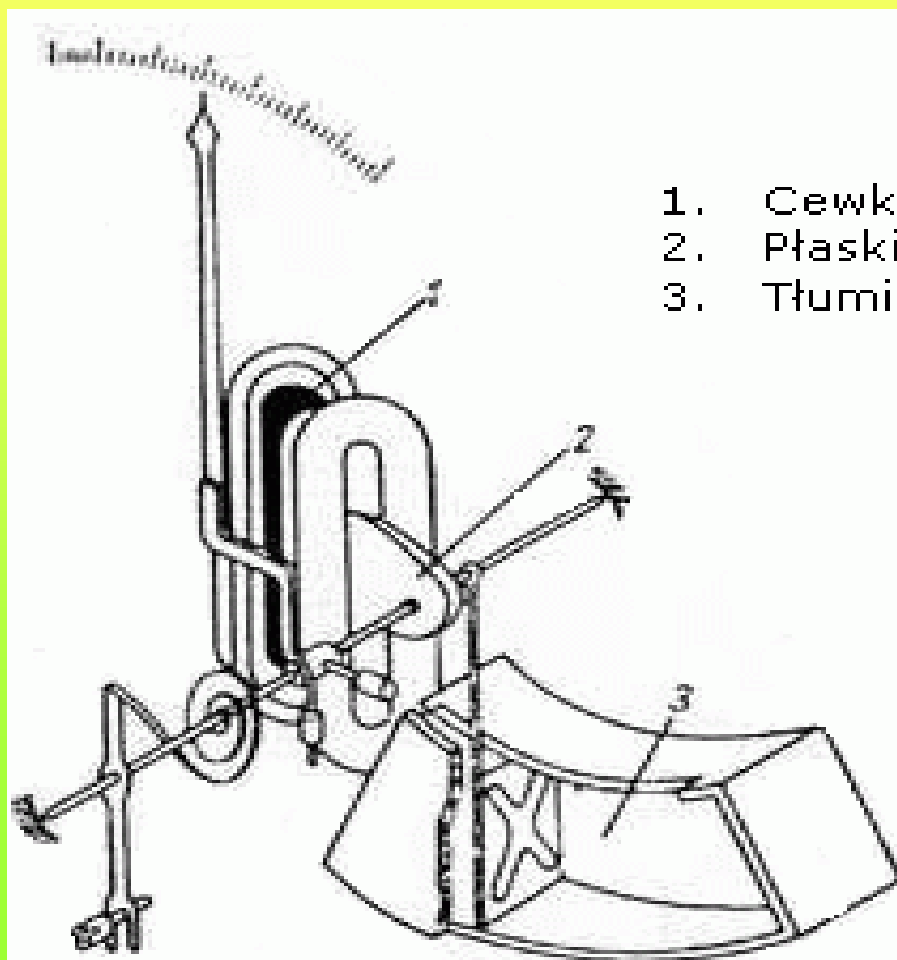
Mierniki elektrodynamiczne są używane jako amperomierze, woltomierze, watomierze do pomiarów przy prądzie stałym i przemiennym.

Mierniki elektrodynamiczne odznaczają się dużą dokładnością, ale mają delikatną budowę. Dlatego też są przeważnie używane jako przyrządy laboratoryjne wysokiej klasy (kl. 0,1; 0,2; 0,5). W watomierzu elektrodynamicznym cewka nieruchoma jest cewką prądową i jest włączona w obwód tak jak amperomierz. Cewka ruchoma jest cewką napięciową i jest włączona w obwód tak jak woltomierz. Jeżeli cewkę nieruchomą nawiniemy na rdzeń z materiału ferromagnetycznego, to wzrośnie siła oddziaływania pola magnetycznego cewki nieruchomej na prąd płynący w cewce ruchomej.

Tego typu mierniki nazywamy
miernikami ferrodynamicznymi.

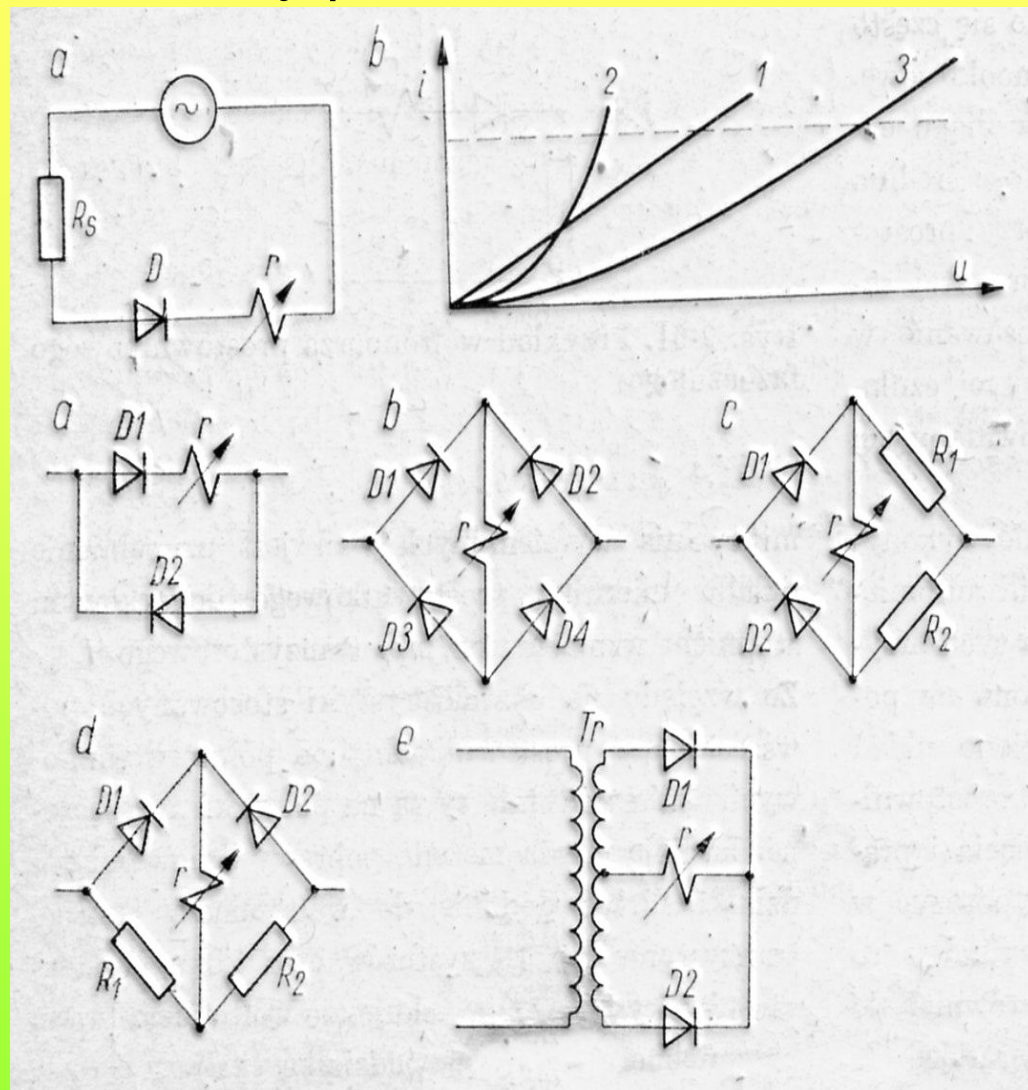
Mierniki ferrodynamiczne mają większy moment napędowy. Dlatego też są stosowane jako mierniki tablicowe, przenośne i rejestrujące.

Budowa ustroju ferromagnetycznego z widocznym przekrojem tłumika



1. Cewka
2. Płaski rdzeń ruchomy (ferromagnetyk)
3. Tłumik (tłumi drgania wskazówki)

Układy prostowania do mierników magnetoelektrycznych



Woltomierz magnetoelektryczny z prostownikiem -

Ustrój magnetoelektryczny przystosowuje się do pomiaru napięcia przemiennego przez włączenie w obwód cewki prostownika (jedo- lub dwupółkowego).

W cewce płynie prąd tętniący jednokierunkowy proporcjonalny do mierzonego napięcia.

- Mierniki uniwersalne do pomiaru prądu przemiennego, napięcia i prądu stałego, rezystancji.
- Duża czułość.
- Zakres częstotliwości od 30Hz do np. 10 kHz.
- Mała wrażliwość na wpływ obcych pól magnetycznych.
- Stosunkowo mała dokładność.

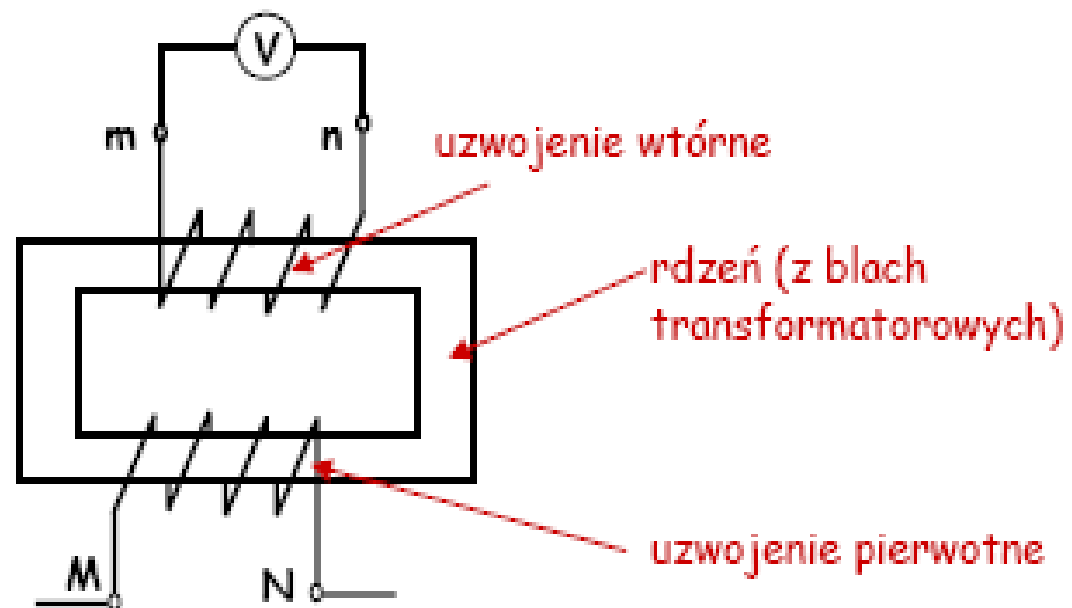
Przekładniki napięciowe i prądowe

Przekładniki napięciowe -
do pomiaru wysokiego napięcia, w sposób bezpieczny,
przyrządami o małym zakresie pomiarowym.

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{z_1}{z_2}$$

$$k_{Un} = \frac{U_{1n}}{U_{2n}}$$

$$U_1 = k_{Un} U_2$$



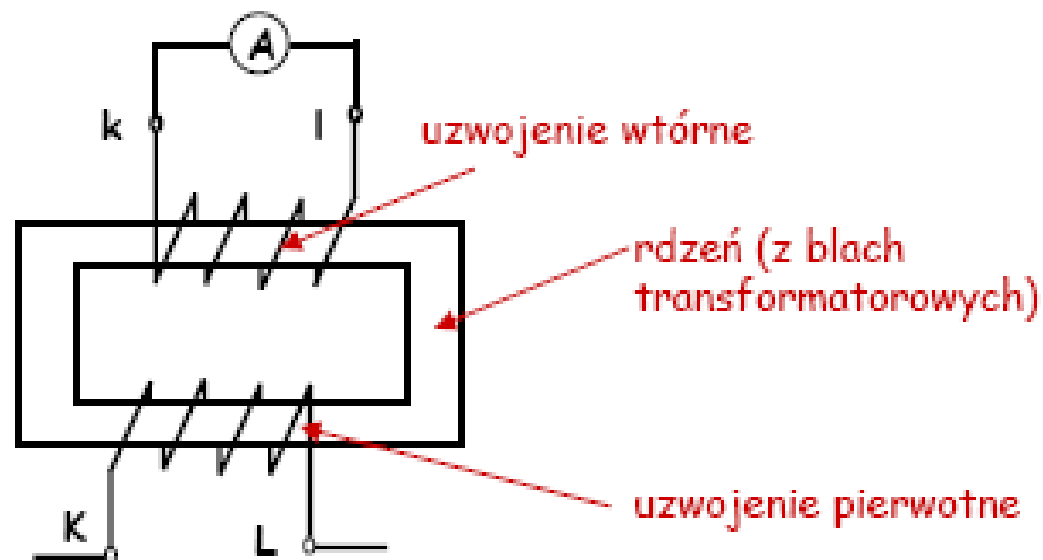
Przekładniki prądowe -

do pomiaru dużych prądów przyrządami o mniejszym zakresie pomiarowym.
Odizolowanie mierników od obwodu wysokiego napięcia.

$$\frac{I_1}{I_2} \approx \frac{z_1}{z_2}$$

$$k_{In} = \frac{I_{1n}}{I_{2n}}$$

$$I_1 = k_{In} I_2$$



Pomiary prądu



- amperomierze magnetoelektryczne;
- amperomierze elektromagnetyczne;
- amperomierze elektrodynamiczne;
- amperomierze elektroniczne:
 - analogowe;
 - cyfrowe;
- kompensatory.

- amperomierze elektromagnetyczne;
- amperomierze elektrodynamiczne;
- amperomierze magnetoelektryczne z prostownikiem;
- amperomierze bimetaliczne;
- amperomierze termoelektryczne;
- amperomierze elektroniczne:
 - analogowe;
 - cyfrowe.

Amperomierz magnetoelektryczny -

Prądy mierzone o wartościach do ok. 10mA mogą bezpośrednio przepływać przez cewkę ruchomą miernika.

Do pomiaru większych prądów - amperomierze z bocznikami:

Amperomierz jest właściwie miliwoltomierzem z dołączonym precyzyjnie wykonanym opornikiem. Prąd płynąc przez ten opornik (bocznik) wywołuje spadek napięcia i wychylenie wskazówki miernika.

W przypadku prądu przemiennego stosuje się mierniki magnetoelektryczne z prostownikiem. Obwód pomiarowy składa się wówczas z miernika magnetoelektrycznego i prostownika przyłączonego do bocznika wielozakresowego.

Amperomierz cęgowy-

Pomiar prądu bez konieczności przerywania obwodu.



Amperomierz szynowe -

Przymocowywane na szyny wysokiego napięcia bez potrzeby przecinania ich.

Amperomierz bimetalowy-

działa na zasadzie nagrzania prądem elementu bimetalowego, który stanowią dwa metalowe paski o różnych cieplnych współczynnikach rozszerzalności liniowej. Mają dużą bezwładność cieplną czyli wskazują średni prąd za czas kilku - kilkunastu minut.

Stosowane są do kontroli przeciążenia sieci lub transformatorów.

Pomiary prądu

Amperomierz termoelektryczny -

miernik magnetoelektryczny wyposażony w przetwornik termoelektryczny. Przeznaczony głównie do pomiarów wartości skutecznej prądu o dużych częstotliwościach (nawet do megaherców) oraz do pomiaru prądów silnie odkształconych.



Tablicowy elektromagnetyczny amperomierz bezpośredniego pomiaru o zakresie 100A dla prądu stałego i przemiennego

Woltomierz, amperomierz i omomierz lampowy z przyrządem wskazówkowym. Napięcia i prądy stałe i przemiennie.

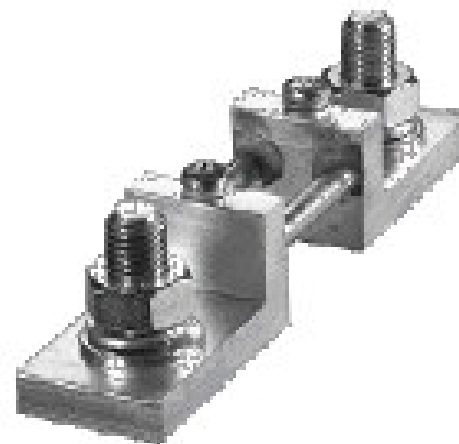
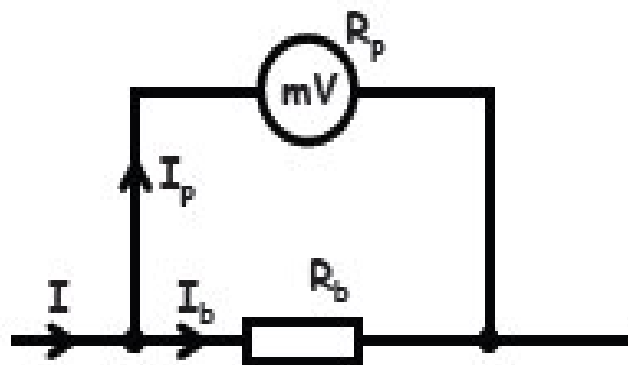
Producent: RHODE & SCHWARZ MUNCHEN.
Nr M458/271



Bocznik -

precyzyjnie wykonany opornik (o małej rezystancji) wykonany z drutu lub taśmy manganinowej (dla uzyskania możliwie stałej rezystancji) służący do rozszerzenia zakresu pomiarowego amperomierza. Prąd przepływający przez bocznik wywołuje spadek napięcia na miliwoltomierzu magnetoelektrycznym, do którego jest dołączony. Miernik może być wywzorcowany bezpośrednio w amperach.

Dla zakresu pomiarowego do 20A bocznik może być umieszczony wewnątrz amperomierza.



Pomiary mocy

Pomiary mocy

prądu stałego

prądu przemiennego

- metoda bezpośrednia (watomierz);
- metoda pośrednia (techniczna).

- watomierze elektrodynamiczne;
- watomierze ferrodynamiczne;
- watomierze indukcyjne;
- elektroniczne watomierze cyfrowe.

Stała watomierza:

W przypadku pomiarów dokonywanych przy pomocy watomierza, konieczne jest obliczenie stałej watomierza. Wartość mocy odczytuje się jako iloczyn stałej watomierza oraz wskazania przyrządu w działkach.

$$C_w = \frac{U_{\text{zakres}} \cdot I_{\text{zakres}}}{\alpha_n}$$

$$C_w = \frac{U_n \cdot I_n \cos \varphi_n}{\alpha_n}$$

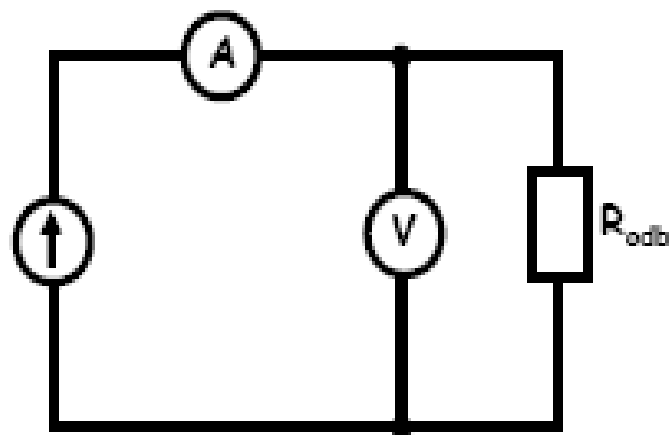
Metoda techniczna -

Pomiar prądu i napięcia na odbiorniku.

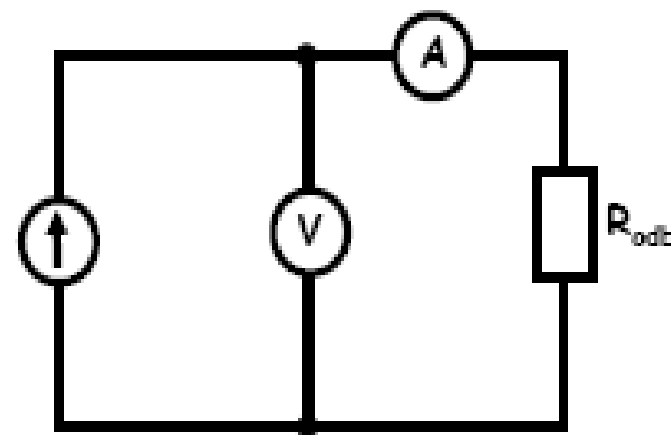
Gdy prąd pobierany przez woltomierz jest wielokrotnie mniejszy niż prąd w odbiorniku, wykorzystuje się układ poprawnie mierzonego napięcia.

Gdy prąd w odbiorniku jest porównywalny z prądem woltomierza, a napięcie na odbiorniku jest dużo większe niż spadek napięcia na amperomierzu, stosuje się metodę poprawnie mierzonego prądu.

Metoda poprawnie
mierzonego napięcia



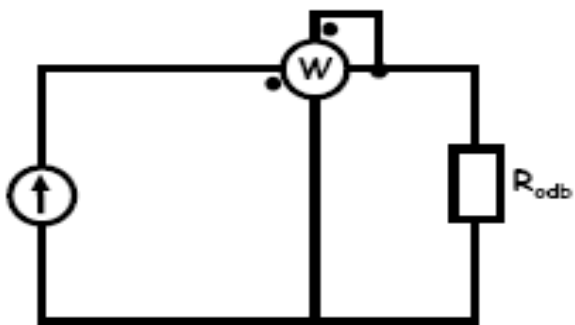
Metoda poprawnie
mierzonego prądu



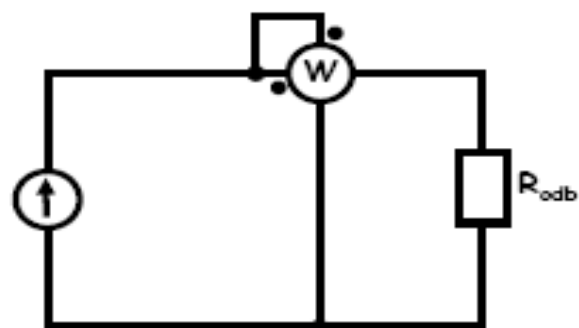
Pomiary mocy

Sposób włączenia watomierza bezpośrednio do obwodu pomiarowego

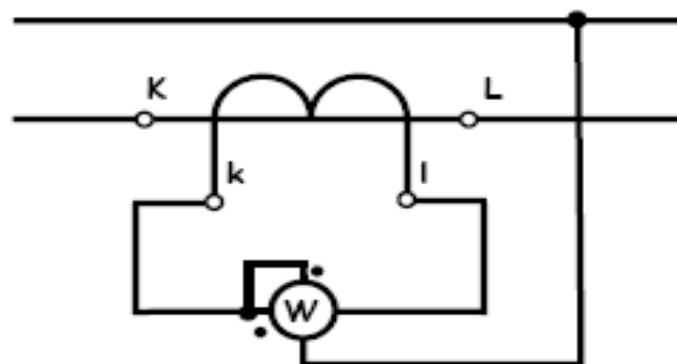
Metoda poprawnie
mierzonego napięcia



Metoda poprawnie
mierzonego prądu



Sposób włączenia watomierza bezpośrednio do obwodu pomiarowego



Pomiary rezystancji

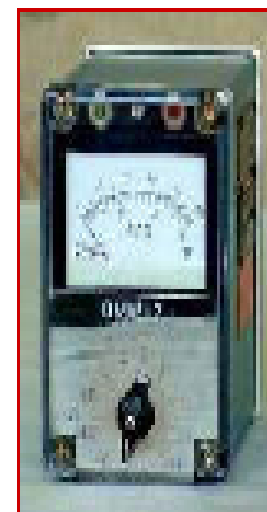
- metoda techniczna poprzez pomiar napięcia i prądu;
- omomierze analogowe i cyfrowe;
- pomiary mostkowe.

Omomierz -

pomiar lub ustawienie natężenia prądu płynącego i napięcia na badanym elemencie pozwala uzyskać wartość rezystancji elementu.

Omomierz szeregowy - składa się z połączonych szeregowo: źródła napięciowego, rezystora, przeskalowanego amperomierza oraz badanego elementu

Omomierz równoległy - składa się z równolegle połączonych: źródła prądu stałego, opornika, woltomierza (wyskalowanego w omach). Nadaje się do pomiaru małych rezystancji.



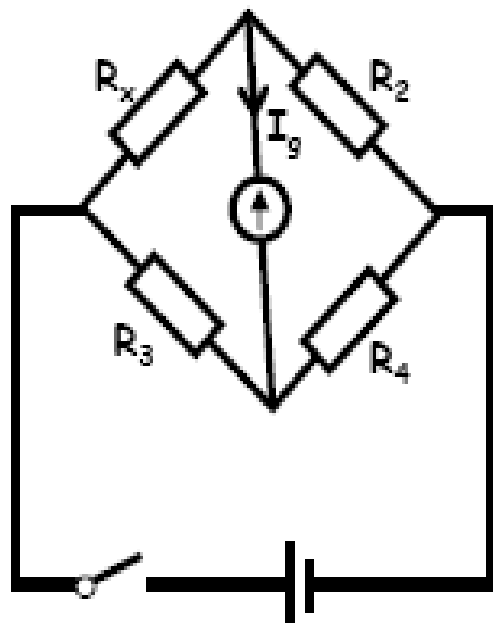
Mostek Wheatstone'a

pozwała bardzo dokładnie wyznaczać wartość nieznanej rezystancji za pomocą trzech rezystancji o znanych dokładnie wartościach.

Techniczny Mostek Wheatstone'a: mniejsza dokładność, mniejszy i wygodniejszy w użyciu.

Posiada mniej czuły, ale odporny na wstrząsy galwanometr oraz rezystor drutowy ze stykiem ślizgowym, służący do płynnego równoważenia układu.

Wykorzystywany do pomiaru rezystancji powyżej $1\ \Omega$.



Warunek równowagi:

$$\frac{R_x}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

$$R_x = R_2 \frac{R_3}{R_4}$$

Pomiary rezystancji

Mostek Thomson'a

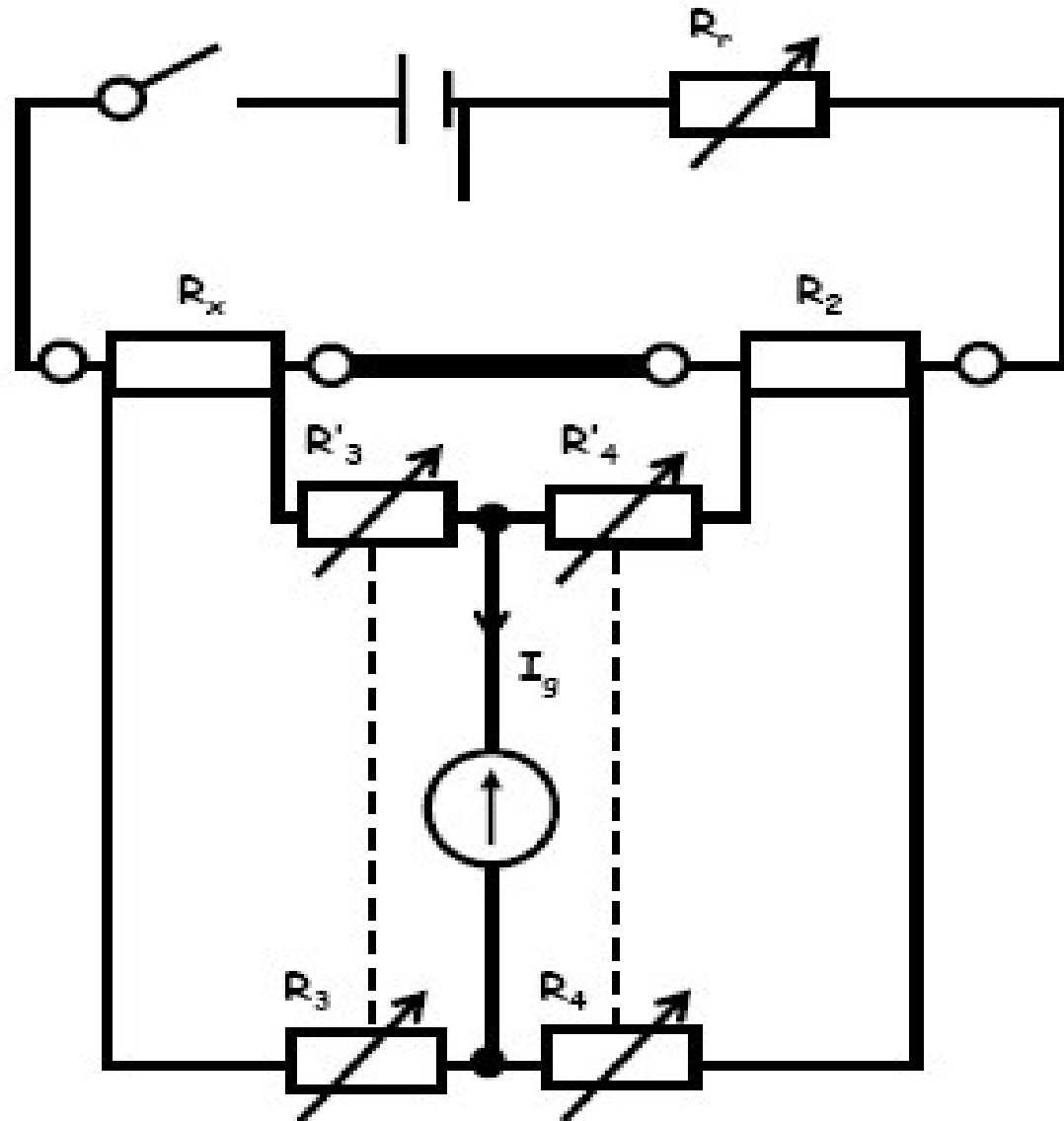
do pomiaru bardzo małych rezystancji (od ułamków milioma do kilku omów).
Wartości tych rezystancji są rzędu rezystancji przewodów łączących.

Jest to mostek sześcioramienny.

Wyróżnia się w nim dwa obwody:

- prądowy (źródło prądu, opornik mierzony R_x , opornik wzorcowy R_2 i opornik regulacyjny R_r),
- mostkowy (sprzężone mechanicznie oporniki regulowane R_3-R_3 i R'_4-R_4 oraz galwanometr).



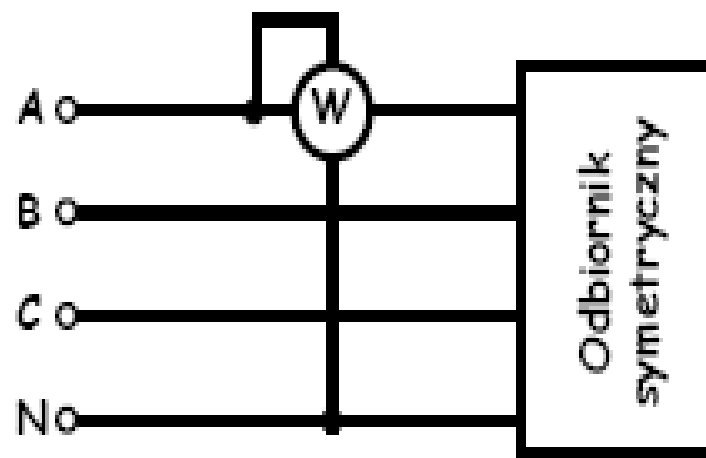


Warunek równowagi:

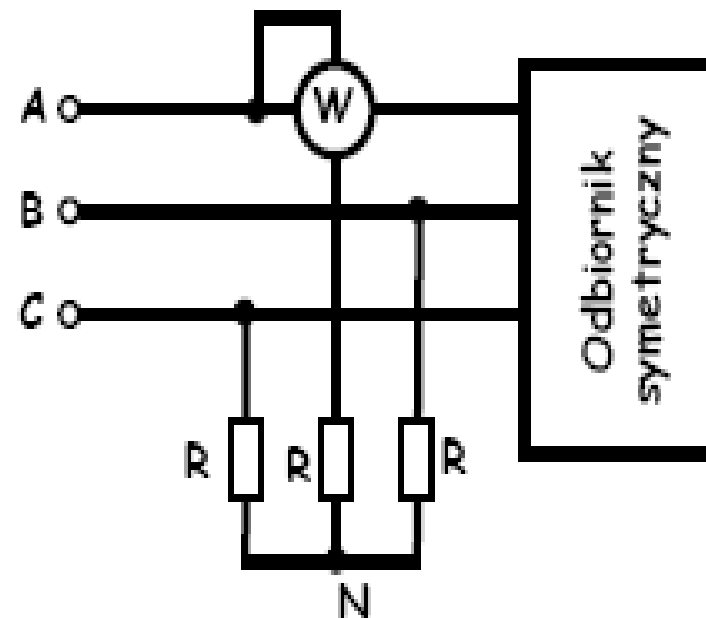
$$R_x = R_2 \frac{R_3}{R_4}$$

Pomiar mocy w układach trójfazowych

Układy trójfazowe symetryczne.



Metoda jednego watomierza.



Metoda jednego watomierza
ze sztucznym punktem zerowym.

Moc pozorna w postaci zespolonej:

$$\underline{S} = \underline{U}_A \underline{I}_A^* + \underline{U}_B \underline{I}_B^* + \underline{U}_C \underline{I}_C^*$$

W układach trójprzewodowych:

$$\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 0$$

więc także:

$$\underline{I}_A^* + \underline{I}_B^* + \underline{I}_C^* = 0$$

$$\underline{S} = (\underline{U}_A - \underline{U}_C) \underline{I}_A^* + (\underline{U}_B - \underline{U}_C) \underline{I}_B^* = \underline{U}_{AC} \underline{I}_A^* + \underline{U}_{BC} \underline{I}_B^*$$

$$P = \operatorname{Re} \underline{S} = U_{AC} I_A \cos \varphi_1 + U_{BC} I_B \cos \varphi_2$$

Kąty fazowe φ_1 oraz φ_2 wynoszą dla układu trójfazowego symetrycznego:

$$\varphi_1 = \varphi - 30^\circ$$

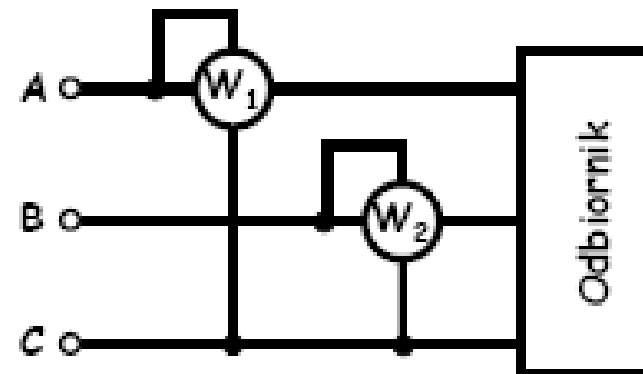
$$\varphi_2 = \varphi + 30^\circ$$

$$P = U_p I_p \cos(\varphi - 30^\circ) + U_p I_p \cos(\varphi + 30^\circ) = P_1 + P_2$$

$$P = P_1 + P_2 = \sqrt{3} U_p I_p \cos \varphi$$

$P_1 = P_2$ jedynie dla odbiornika symetrycznego o charakterze rezystancyjnym!

Metoda dwóch watomierzy.



Pomiar mocy w układach trójfazowych

Układy trójfazowe symetryczne.

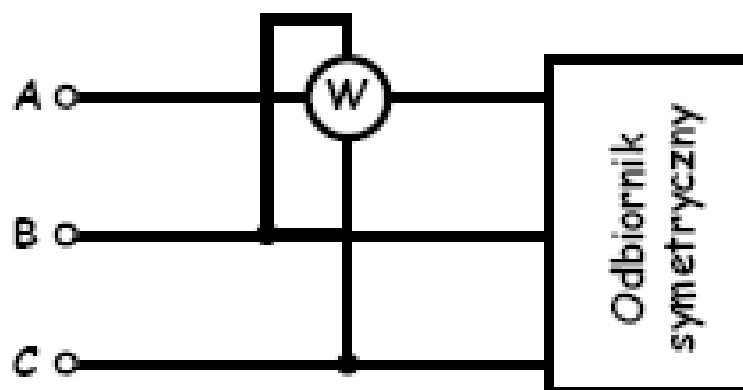
W układzie trójfazowym symetrycznym metodą dwóch watomierzy można też dokonać pomiaru mocy biernej:

$$P_1 - P_2 = U_p I_p \cos(\varphi - 30^\circ) - U_p I_p \cos(\varphi + 30^\circ) = U_p I_p \sin \varphi$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \sqrt{3} \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2}$$

Metoda jednego watomierza do pomiaru mocy biernej:

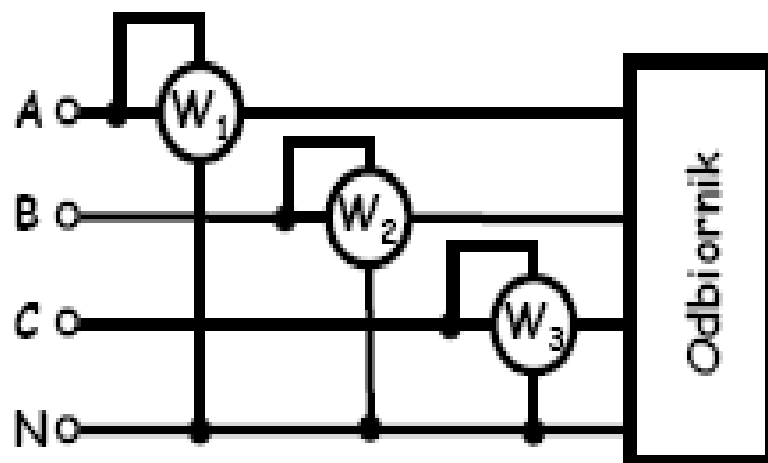
$$U_{BC} I_A \cos(90^\circ - \varphi) = U_p I_p \sin \varphi$$



Układy trójfazowe niesymetryczne.

$$P = U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C$$

Metoda trzech watomierzy:



Metoda dwóch watomierzy jedynie dla układów 3-przewodowych, gdzie spełnione jest równanie:

$$\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 0$$

Wówczas:

$$P = \operatorname{Re} \underline{S} =$$

$$= U_{AC} I_A \cos \varphi_1 + U_{BC} I_B \cos \varphi_2$$