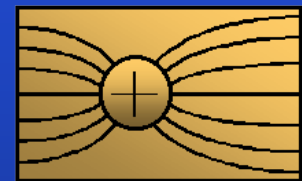




Politechnika Wrocławska



Wydział Mechaniczno-Energetyczny



Podstawy elektrotechniki

Prof. dr hab. inż. Juliusz B. Gajewski, prof. zw. PWr

Wybrzeże S. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

Bud. A4 „Stara kotłownia”, pokój 359

Tel.: 71 320 3201

Fax: 71 328 3218

E-mail: juliusz.b.gajewski@pwr.edu.pl

Internet: www.itcmp.pwr.wroc.pl/elektra

Pomiary elektryczne

Przyrządy pomiarowe wskazówkowe

P o m i a r y wielkości elektrycznych: napięcia, natężenia prądu, mocy i pracy prądu itd. wykonuje się urządzeniami, w których wykorzystuje się zjawiska towarzyszące przepływowi prądu elektrycznego: c i e p l n e, c h e m i c z n e i m a g n e t y c z n e. Z praktycznego punktu widzenia największe znaczenie dla pomiarów elektrycznych mają z j a w i s k a m a g n e t y c z n e 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 *ś r e d n i c h* albo *s k u t e c z n y c h*.

Pomiary elektryczne

Przyrządy pomiarowe wskazówkowe

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 **p o w i e t r z n e i w i r o p r ą d o w e**.

Pomiary elektryczne

Przyrządy pomiarowe wskazówkowe

W tłumikach powietrznych ruch jest tłumiony oporem powietrza w komorze, w której porusza się skrzydełko tłumika. W tłumikach wiropądowych 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:

- magneto elektryczne,
- elektromagnetyczne,
- elektrodynamiczne,
- indukcyjne.

Pomiary elektryczne

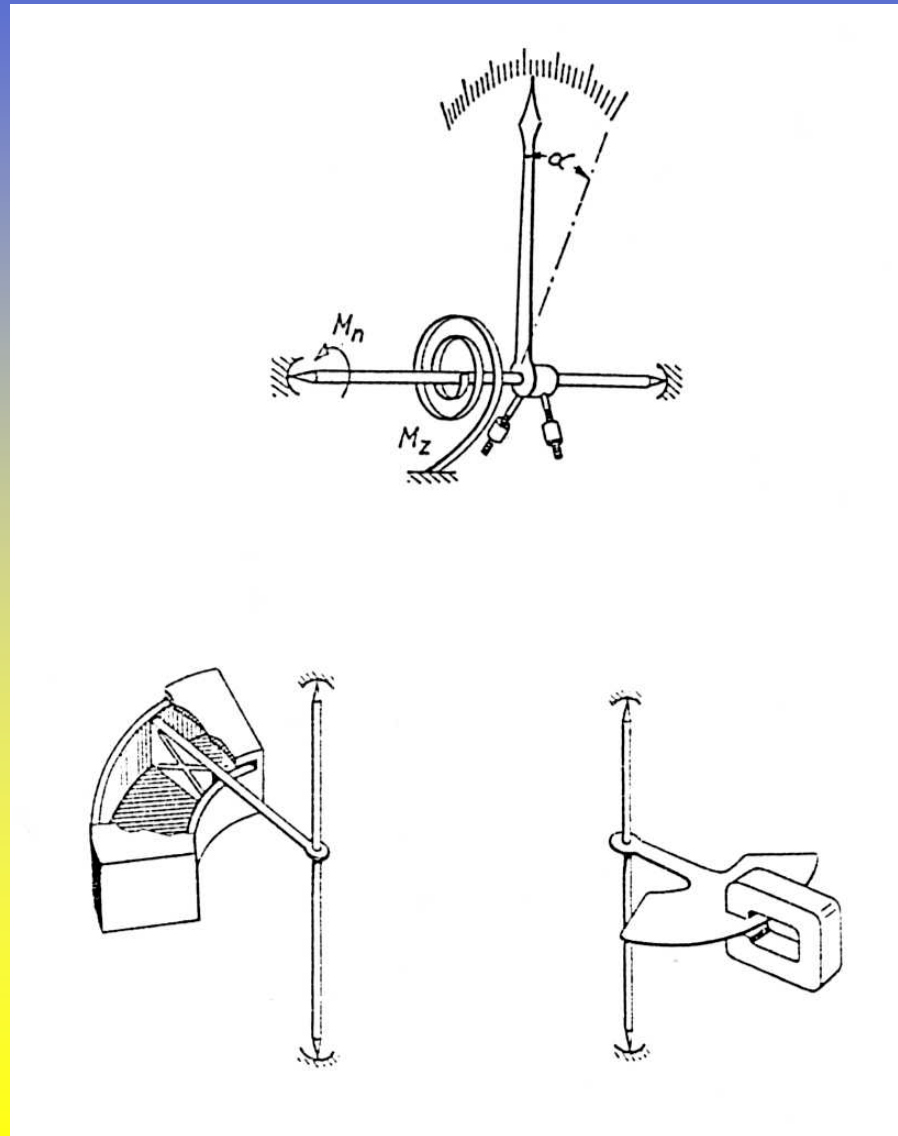
Przyrządy pomiarowe wskazówkowe

Wyróżnia się także:

- mierniki magnetoelektryczne z prostownikiem,
- mierniki magnetoelektryczne ilorazowe,
- mierniki ferrodynamiczne,
- inne.

Pomiary elektryczne

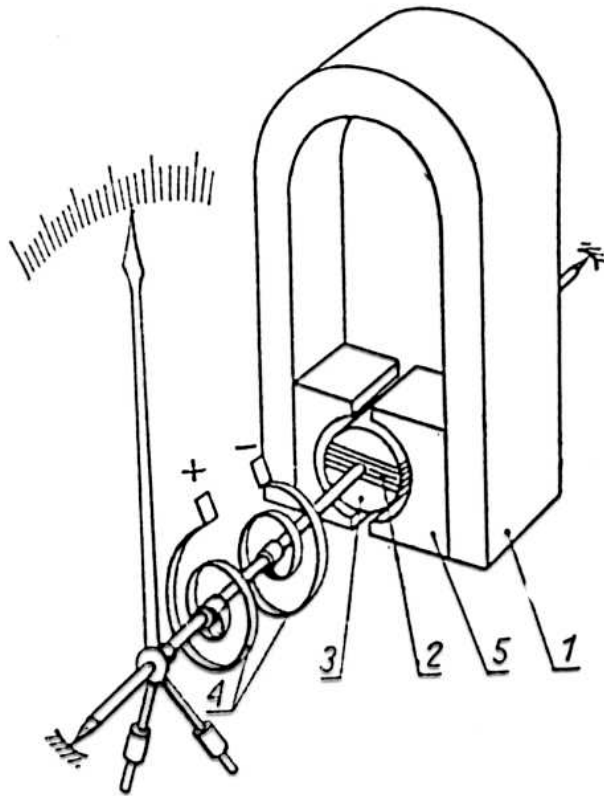
Przyrządy pomiarowe wskazówkowe



Pomiary elektryczne

Przyrządy pomiarowe wskazówkowe

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.

Pomiary elektryczne

Przyrządy pomiarowe wskazówkowe

Mierniki magnetoelektryczne

$$M_n = 2rFz = 2rBIlz = k_1 I$$

$$M_z = k_2 \alpha$$

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

Pomiary elektryczne

Przyrządy pomiarowe wskazówkowe

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 cewczkę znosiłyby się w obu półokresach i w konsekwencji wskazówka pokazywałaby zero. Mierniki magnetoelektryczne służą zatem do pomiaru **p r ą d ó w s t a ł y c h** albo **p u l s u j ą c y c h j e d n o k i e r u n k o w y c h**.

Dodanie prostownika umożliwia pomiar **n a p i ę ć i p r ą d ó w p r z e m i e n n y c h**.

Pomiary elektryczne

Przyrządy pomiarowe wskazówkowe

Mierniki magnetoelektryczne

Mierniki magnetoelektryczne są stosowane jako:

- g a l w a n o m e t r y,
- w o l t o m i e r z e,
- a m p e r o m i e r z e.

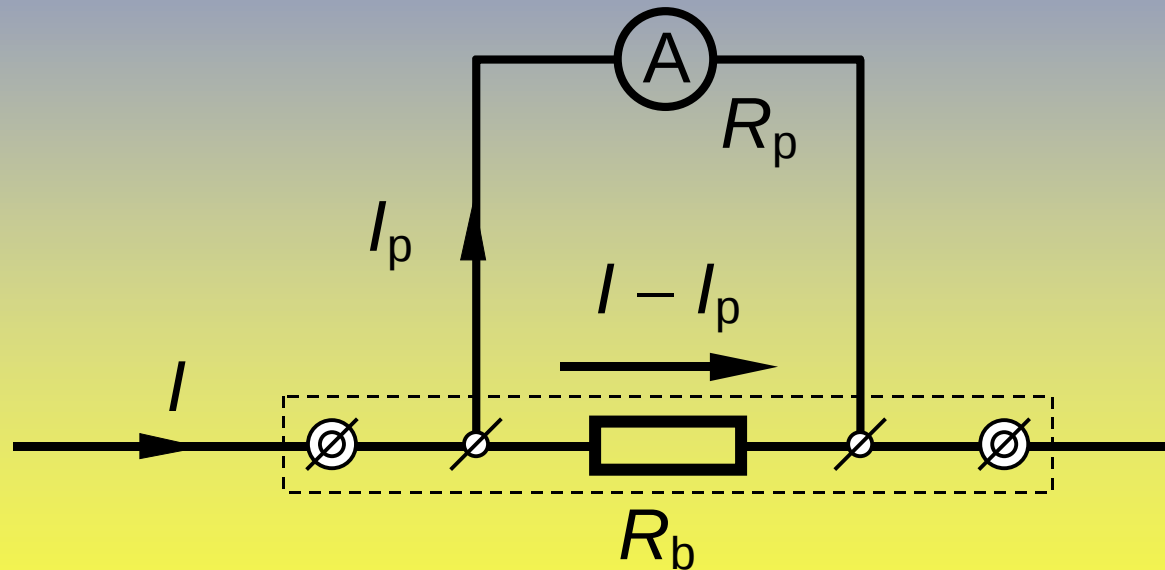
Z powodu cewki wykonanej z cienkiego druciku służą ogólnie do pomiaru niewielkich prądów (do kilkudziesięciu miliamperów), a ze względu na jej małą rezystancję zakres napięć jest również niewielki. W celu rozszerzenia zakresów pomiarowych stosuje się opory włączane równolegle do amperomierzy (boczniki)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

Pomiary elektryczne

Przyrządy pomiarowe wskazówkowe

Mierniki magnetoelektryczne

Bocznik



$$R_p I_p = (I - I_p) R_b$$

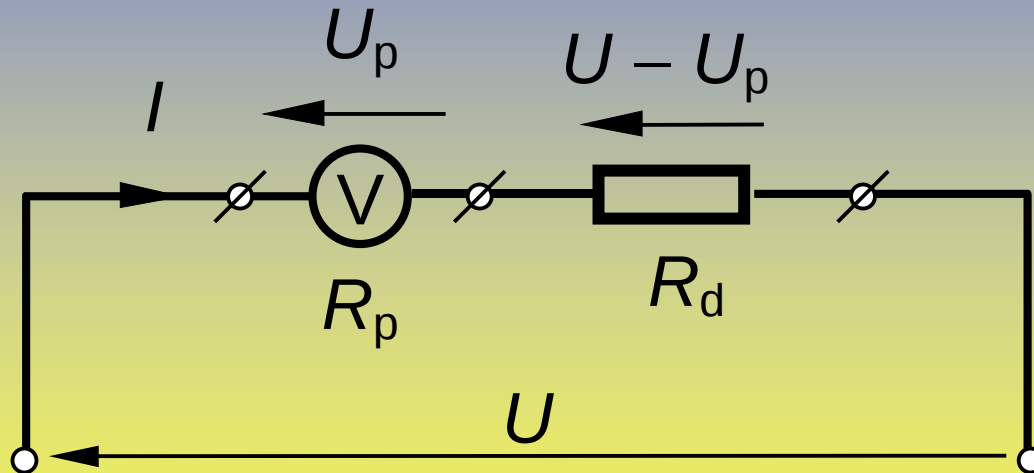
$$R_b = R_p \frac{I_p}{I - I_p} = \frac{R_p}{n - 1}$$

Pomiary elektryczne

Przyrządy pomiarowe wskazówkowe

Mierniki magnetoelektryczne

Posobnik

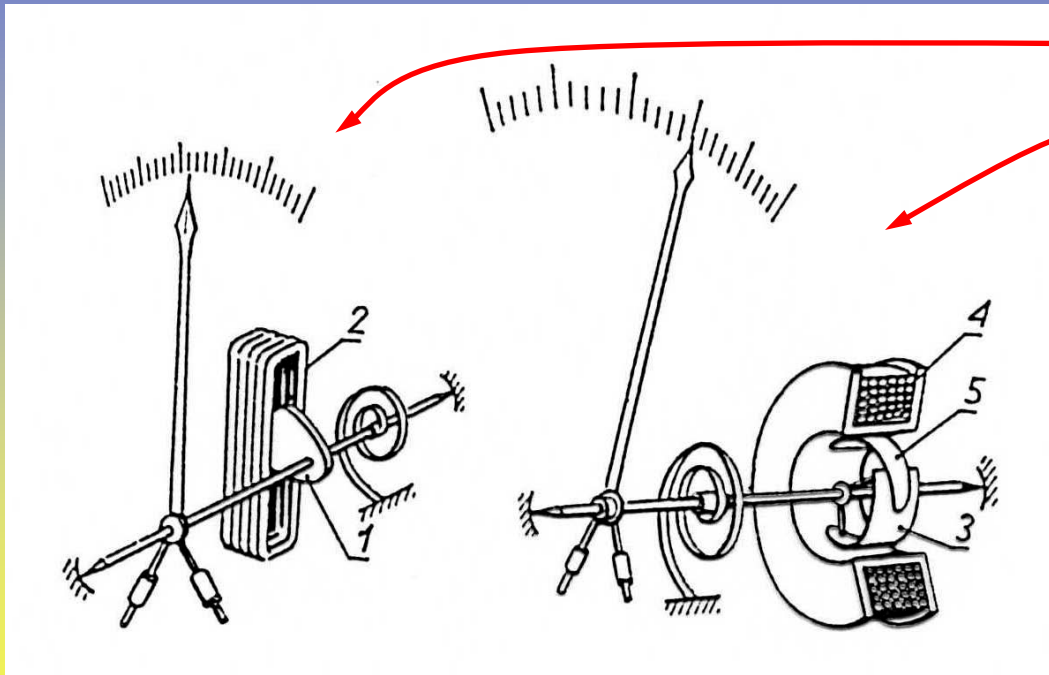


$$U_p = R_p I \quad \text{i} \quad U - U_p = R_d I \quad \quad R_d = R_p \frac{U - U_p}{U} = (n - 1) R_p$$

Pomiary elektryczne

Przyrządy pomiarowe wskazówkowe

Mierniki elektromagnetyczne



- jednordzeniowe;
- dwurdzeniowe.

1. aluminiowa ramka — rdzeń z materiału miękkiego magnetycznie;
2. cewka płaska;
3. blaszka ruchoma;
4. cewka cylindryczna;
5. blaszka nieruchoma.

Pomiary elektryczne

Przyrządy pomiarowe wskazówkowe

Mierniki elektromagnetyczne

$$W = \frac{1}{2} L I^2$$

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

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

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

Pomiary elektryczne

Przyrządy pomiarowe wskazówkowe

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 natężenie 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 jednoimien- nie i odpychają się niezależnie od kierunku prądu, zarówno przy prądzie stałym jak i przemiennym. Skala miernika nie jest równo- mierna; 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).

Pomiary elektryczne

Przyrządy pomiarowe wskazówkowe

Mierniki elektromagnetyczne

Mierniki elektromagnetyczne służą zatem do pomiaru **p r ą d ó w s t a ł y c h i p r z e m i e n n y c h** i są stosowane jako:

- w o l t o m i e r z e,
- a m p e r o m i e r z e.

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.

Pomiary elektryczne

Przyrządy pomiarowe wskazówkowe

Mierniki elektromagnetyczne

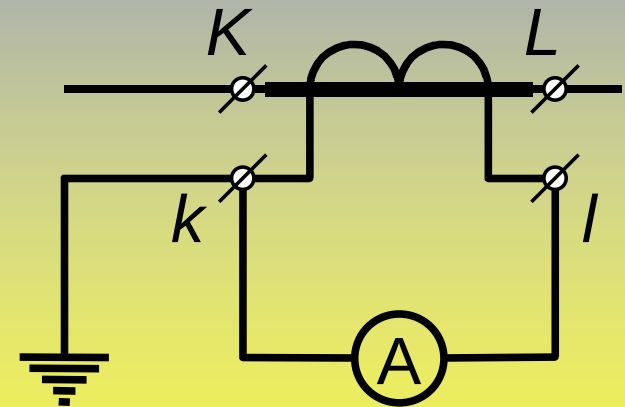
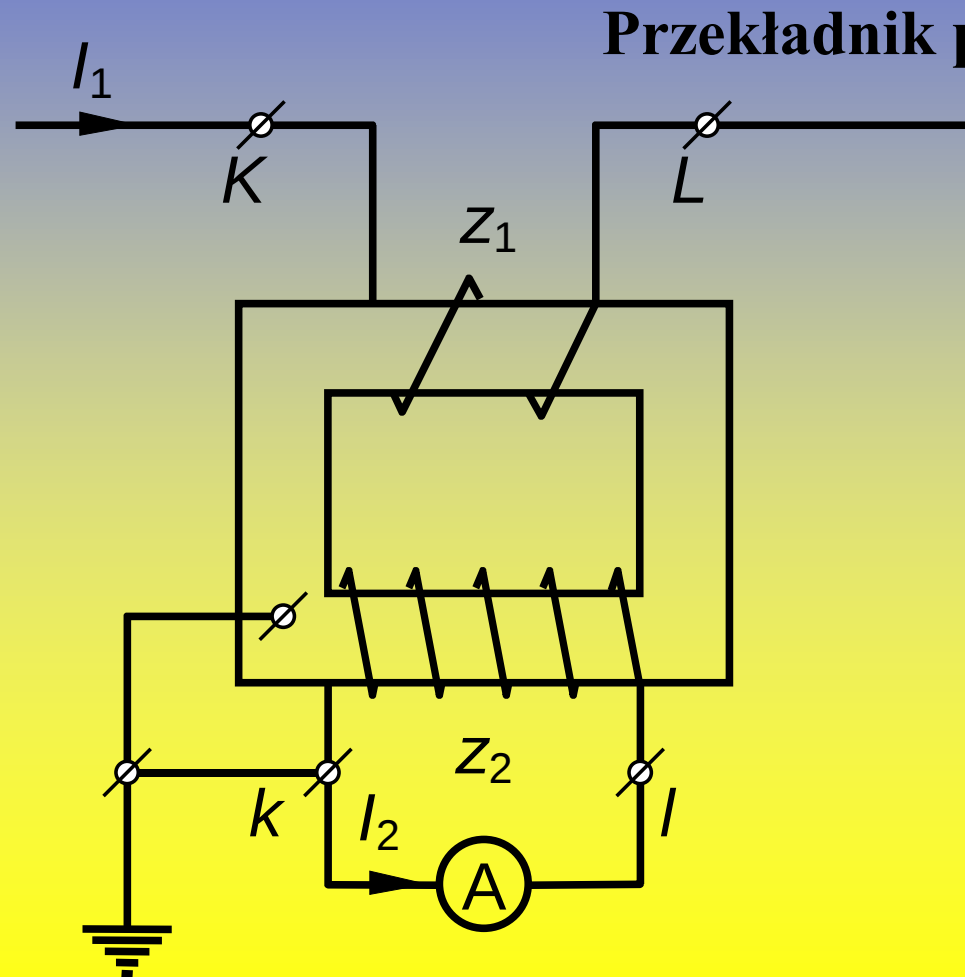
Mierniki takie włączane bezpośrednio do mierzonego obwodu mają zakres napięciowy od pojedynczych woltów do nawet 600 V, a mierzone prądy mogą mieć wartość od 50 mA do ok. 300 A. Przez zastosowanie oporników dodatkowych można zmieniać zakres pomiarowy woltomierzy; zakres amperomierzy zmienia się przez 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*.

Pomiary elektryczne

Przyrządy pomiarowe wskazówkowe

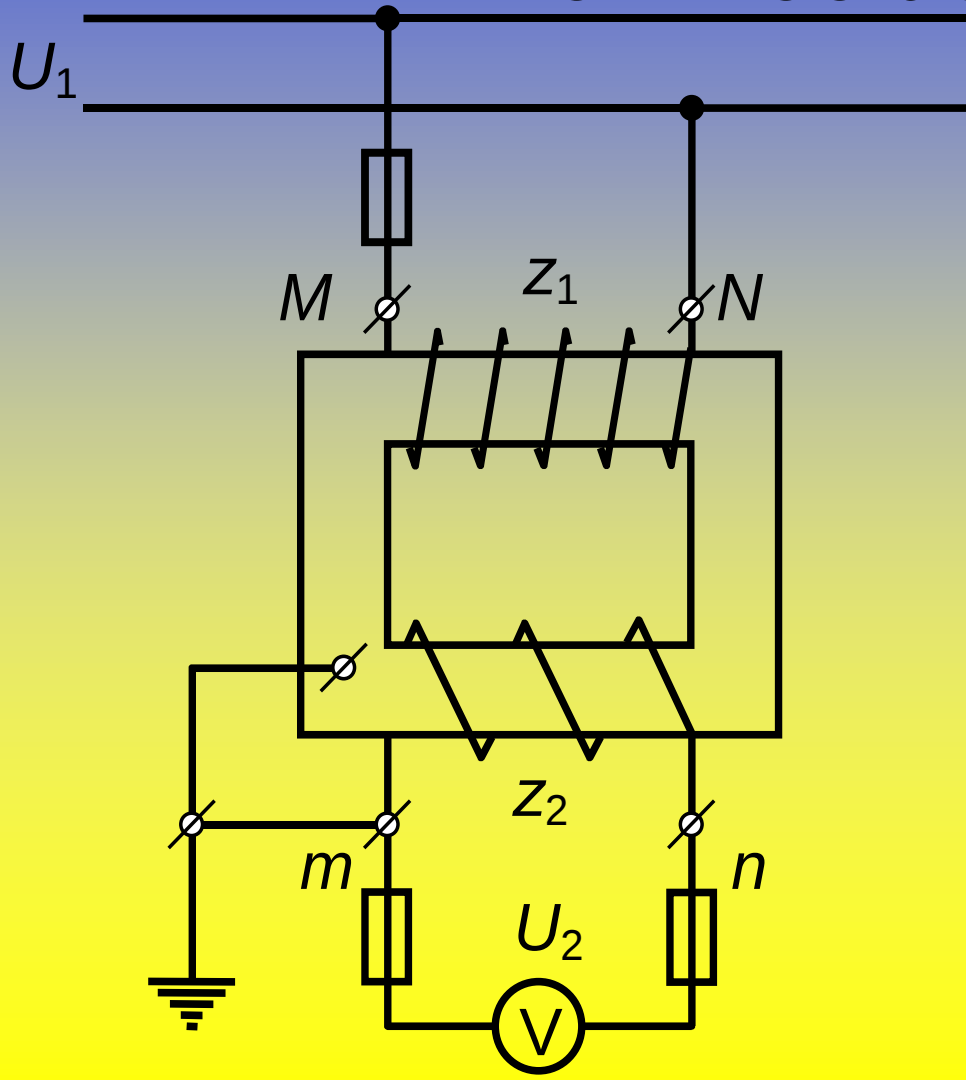
Mierniki elektromagnetyczne



Pomiary elektryczne

Przyrządy pomiarowe wskazówkowe

Mierniki elektromagnetyczne



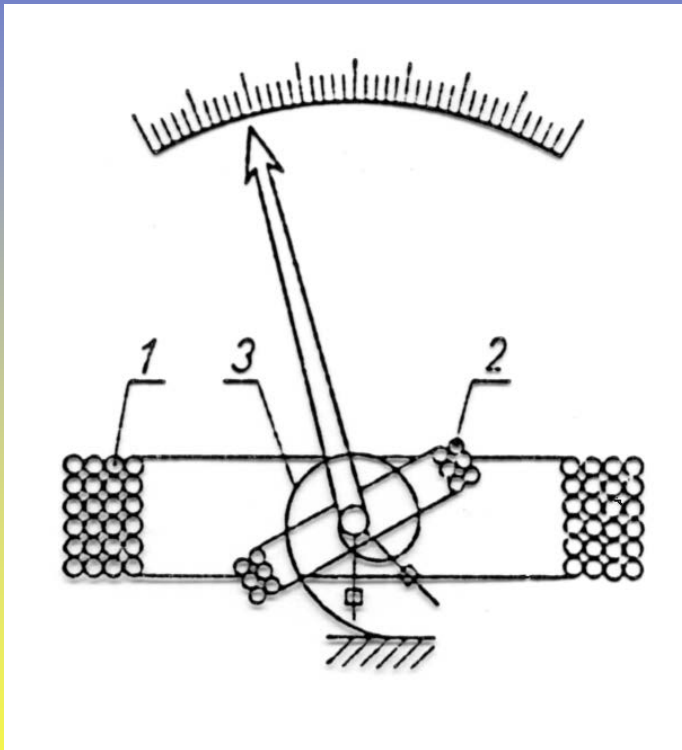
Przekładnik napięciowy

$$\frac{I_1}{I_2} \cong \frac{Z_2}{Z_1} \quad \wedge \quad \frac{U_1}{U_2} \cong \frac{Z_1}{Z_2}$$

Pomiary elektryczne

Przyrządy pomiarowe wskazówkowe

Mierniki elektrodynamiczne



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

$$\alpha = k I_1 I_2 \cos \varphi$$

$$\alpha = k I^2$$

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

Pomiary elektryczne

Przyrządy pomiarowe wskazówkowe

Mierniki elektrodynamiczne

Główną dziedziną zastosowań mierników elektrodynamicznych jest pomiar mocy prądu przemiennego. Przyrząd taki nazywa się *w a t o m i e r z e m e l e k t r o d y n a m i c z n y m*. 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*. Przez cewkę napięciową płynie prąd I_v proporcjonalny do napięcia.

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

Pomiary elektryczne

Przyrządy pomiarowe wskazówkowe

Mierniki elektrodynamiczne

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

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

Stała watomierza

Pomiary elektryczne

Przyrządy pomiarowe wskazówkowe

Mierniki elektrodynamiczne

Mierniki elektrodynamiczne służą do pomiaru **p r ą d ó w s t a-
ł y c h i p r z e m i e n n y c h** i są stosowane jako:

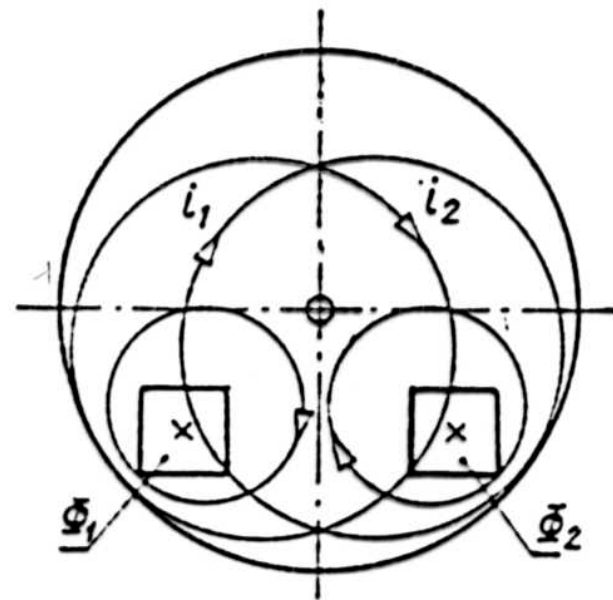
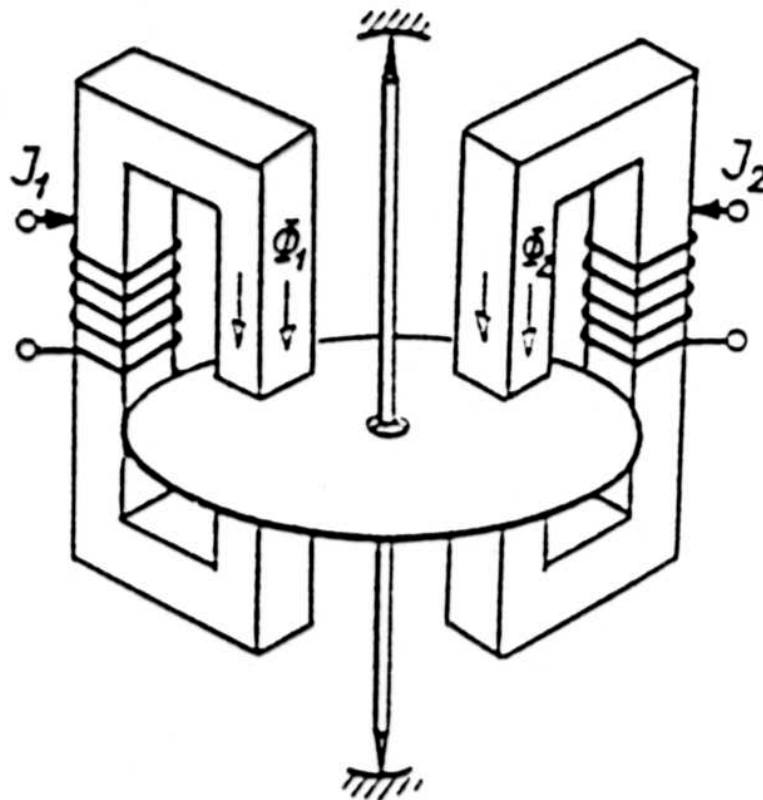
- a m p e r o m i e r z e,
- w o l t o m i e r z e,
- w a t o m i e r z e.

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.

Pomiary elektryczne

Przyrządy pomiarowe wskazówkowe

Mierniki indukcyjne



Pomiary elektryczne

Przyrządy pomiarowe wskazówkowe

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.

Pomiary elektryczne

Przyrządy pomiarowe wskazówkowe

Mierniki indukcyjne

$$M_n = c I_1 I_2 f \cos \psi$$

$$M_n = k \alpha = c_1 U I \cos \varphi = c_1 P$$

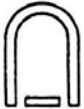
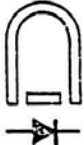
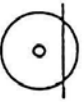
$$M_h = c_2 n$$

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

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

Pomiary elektryczne

Zestawienie elektrycznych przyrządów pomiarowych

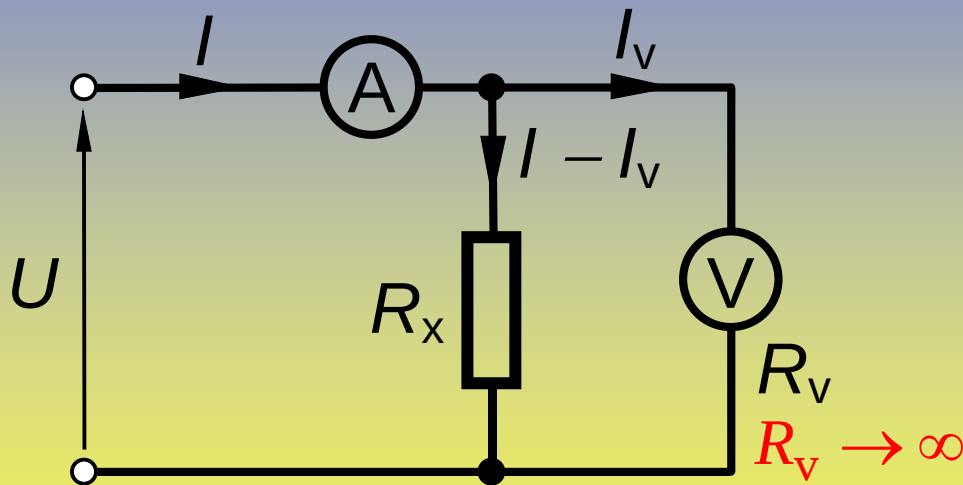
Typ przyrządu	Znak	Zasada konstrukcji	Najczęstsze zastosowanie	Rodzaj prądu
Magnetoelektryczne		magnes trwały i cewka ruchoma	galwanometry, amperomierze, woltomierze	stały
Magnetoelektryczne z prostownikiem		jak wyżej oraz prostownik	amperomierze, woltomierze	przemienny
Magnetoelektryczne ilorazowe	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

Pomiary elektryczne

Pomiar oporu czynnego (rezystancji)

Metoda techniczna

Układ z poprawnie mierzonym napięciem



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

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

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

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

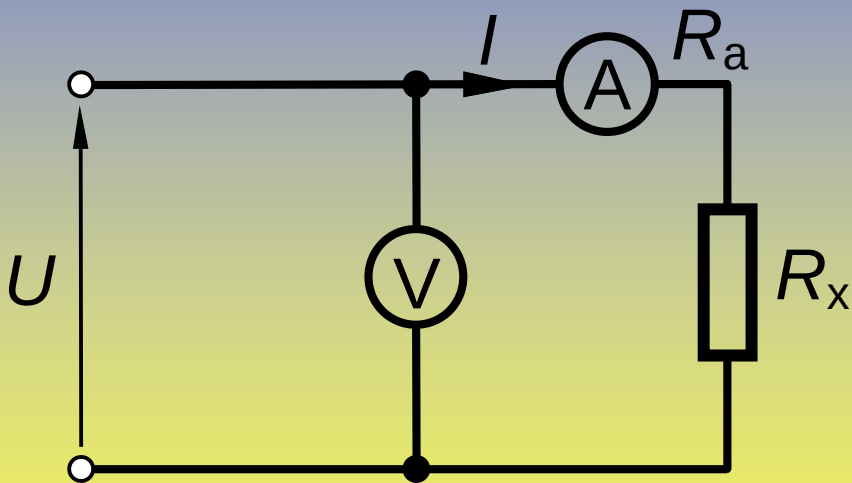
$$R_x \ll R_v \quad R_x < 1.0 \, \Omega$$

Pomiary elektryczne

Pomiar oporu czynnego (rezystancji)

Metoda techniczna

Układ z poprawnie mierzonym prądem



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

$$R_a \rightarrow 0$$

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

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

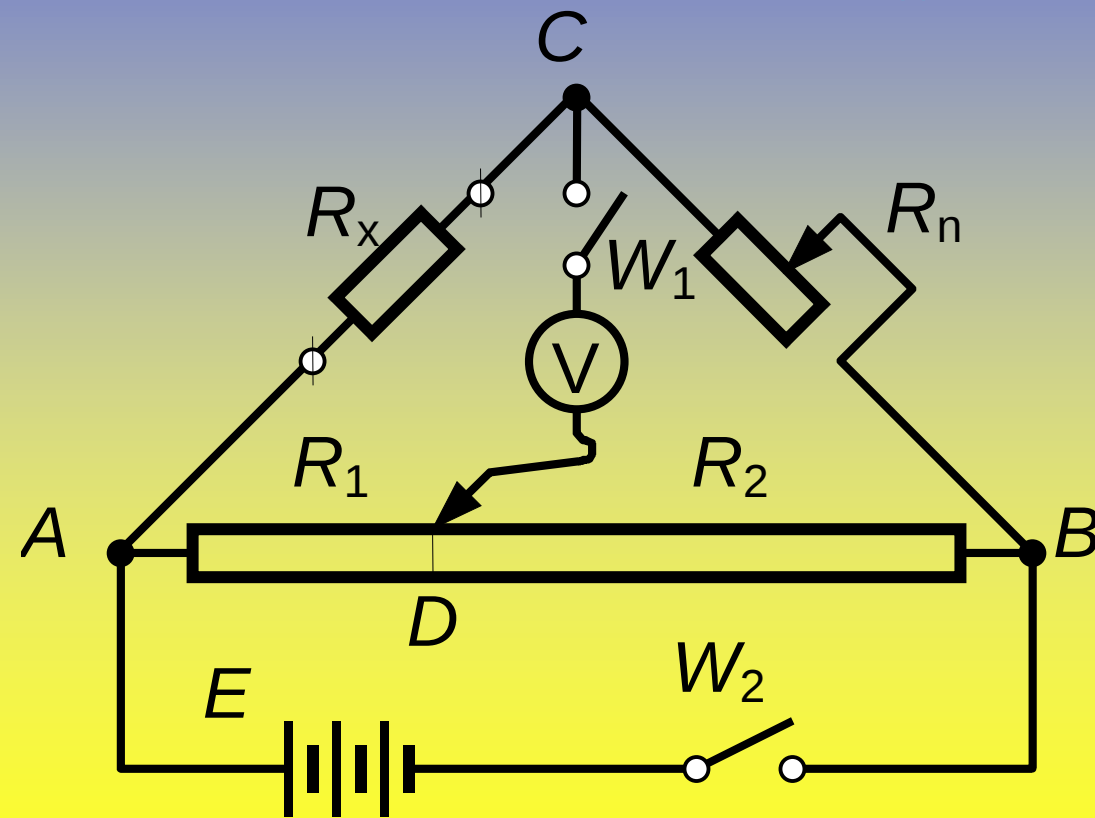
$$R_x \gg R_a \quad R_x > 1.0 \, \Omega$$

Pomiary elektryczne

Pomiar oporu czynnego (rezystancji)

Metoda mostkowa

Mostek *Wheatstone'a*



$$U_{AC} = U_{AD} \text{ i } U_{CB} = U_{DB}$$

$$I_1 R_x = I_2 R_1$$

$$I_1 R_n = I_2 R_2$$

$$R_x = R_n \frac{R_1}{R_2}$$

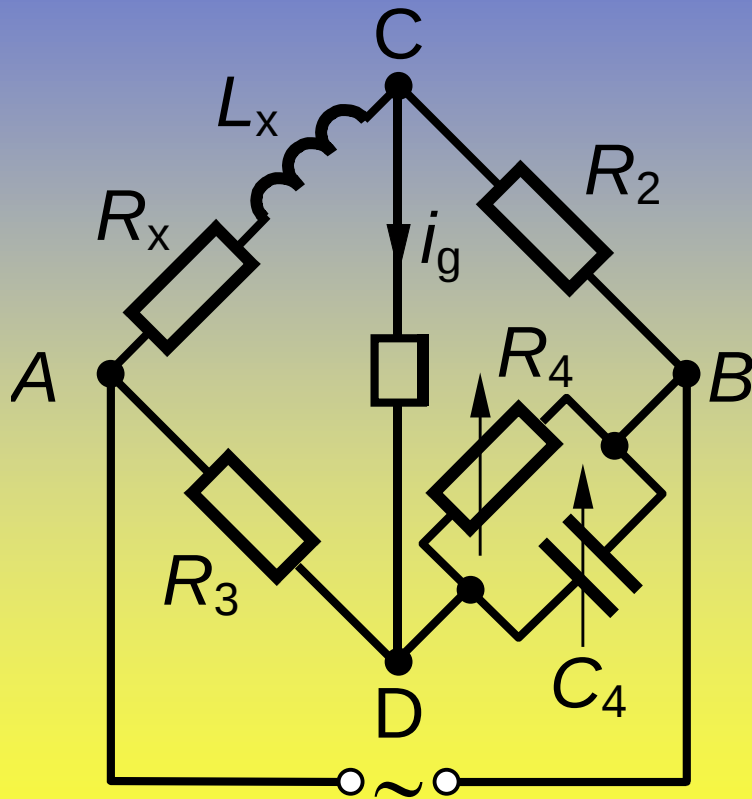
$R_x < 0.1 \text{ (1.0) } \Omega$ — mostek *Thomsona*

$0.1 \text{ (1.0) } \Omega < R_x < 10^6 \Omega$

Pomiary elektryczne

Pomiar indukcyjności i pojemności metodą mostkową

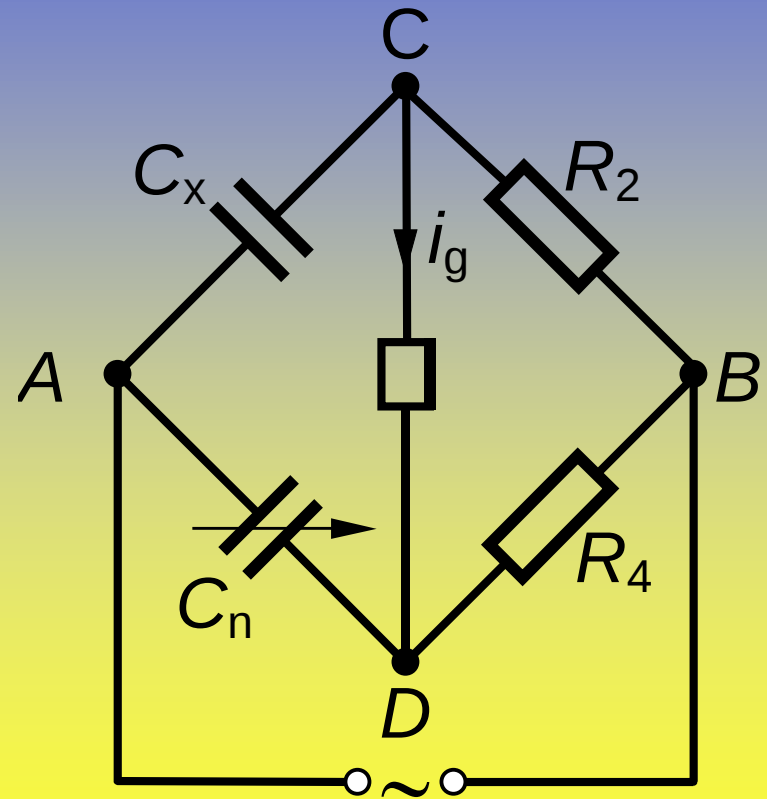
Indukcyjność



Mostek *Maxwella–Wiena*

$$R_x = R_2 R_3 / R_4 \text{ i } L_x = C_4 R_2 R_3$$

Pojemność

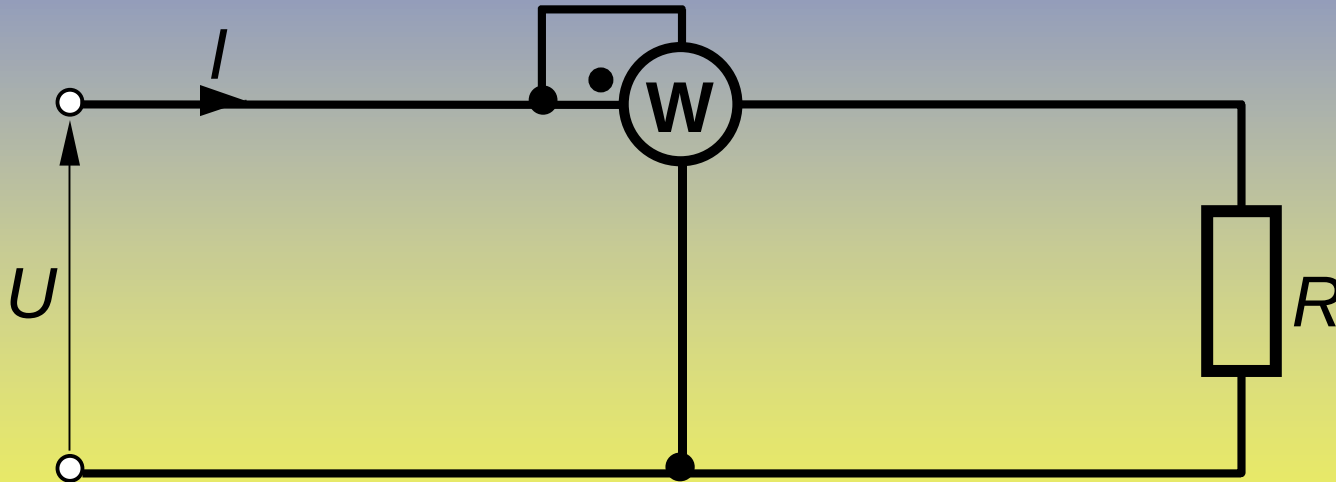


Mostek *Sauty'ego*

$$C_x = C_n R_4 / R_2$$

Pomiary elektryczne

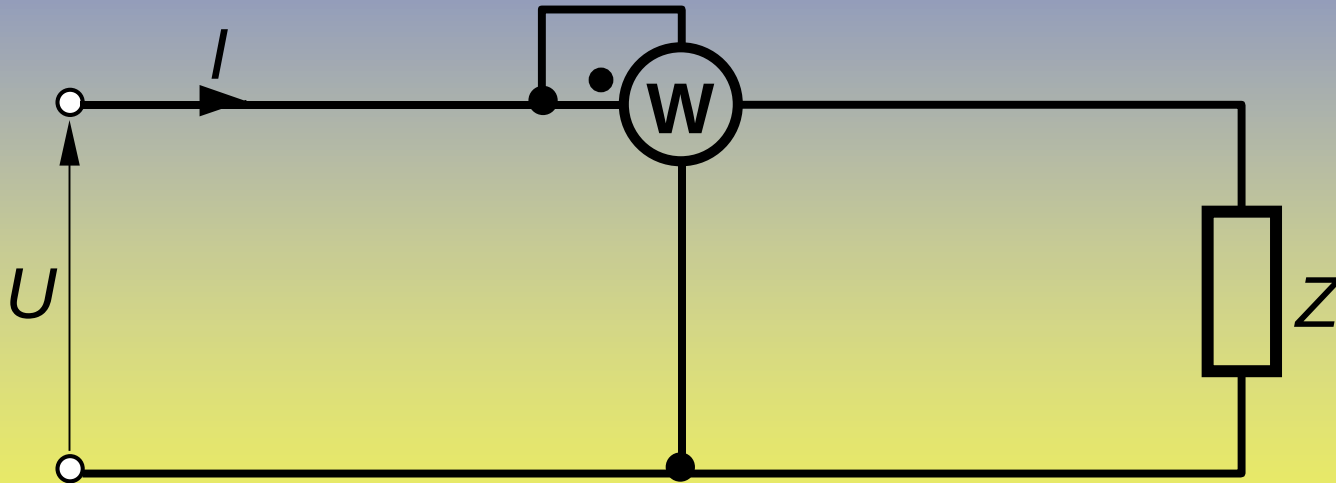
**Pomiary mocy czynnej P , mocy pozornej S
i współczynnika mocy $\cos\varphi$
w obwodach prądu przemiennego**



$$P = UI$$

Pomiary elektryczne

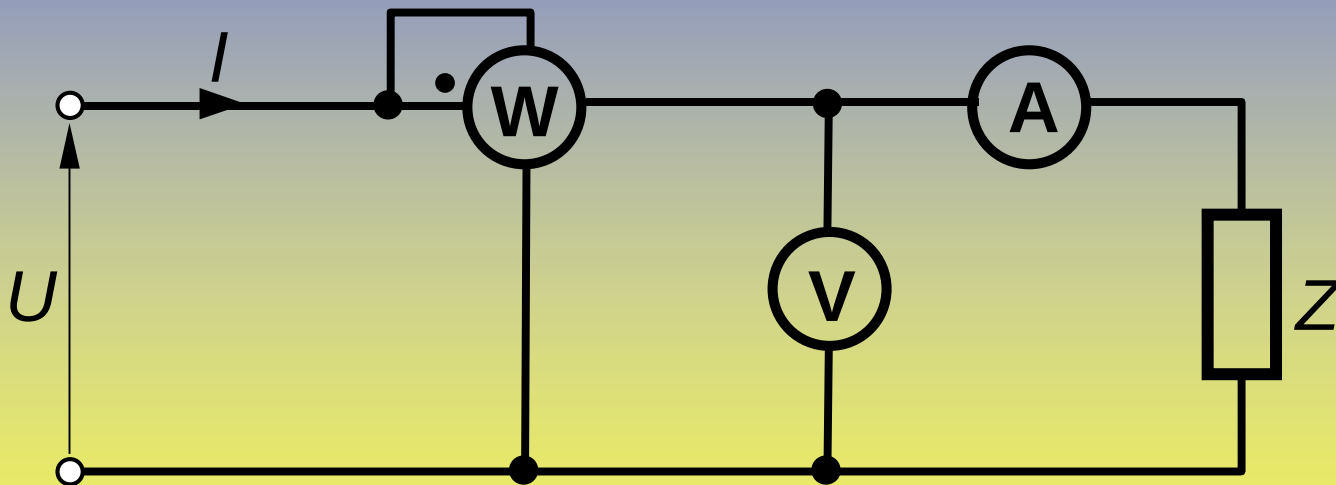
**Pomiary mocy czynnej P , mocy pozornej S
i współczynnika mocy $\cos \varphi$
w obwodach prądu przemiennego**



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

Pomiary elektryczne

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

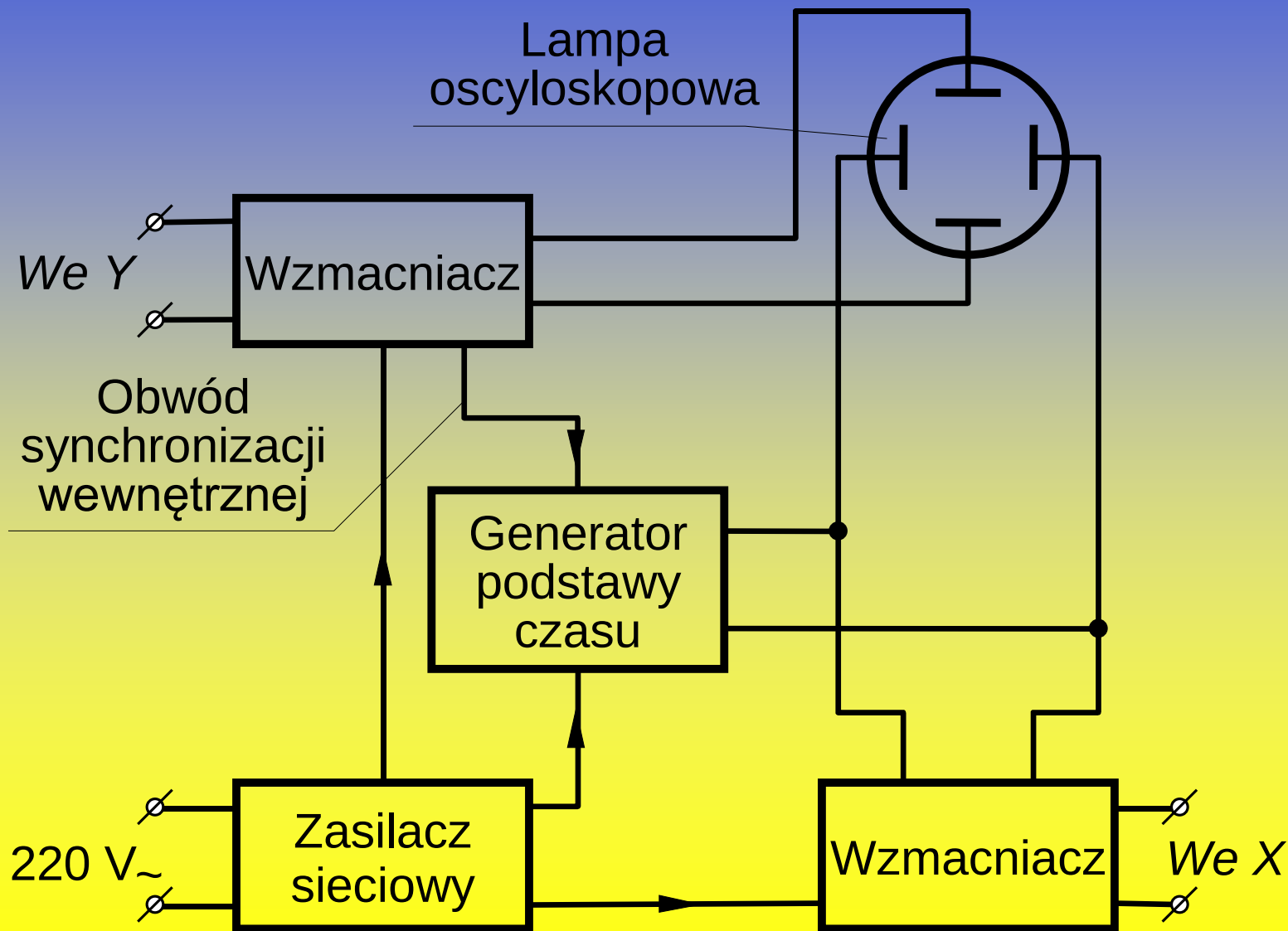


$$P = UI \cos \varphi, \quad S = UI \quad \wedge \quad \cos \varphi = \frac{P}{S}$$



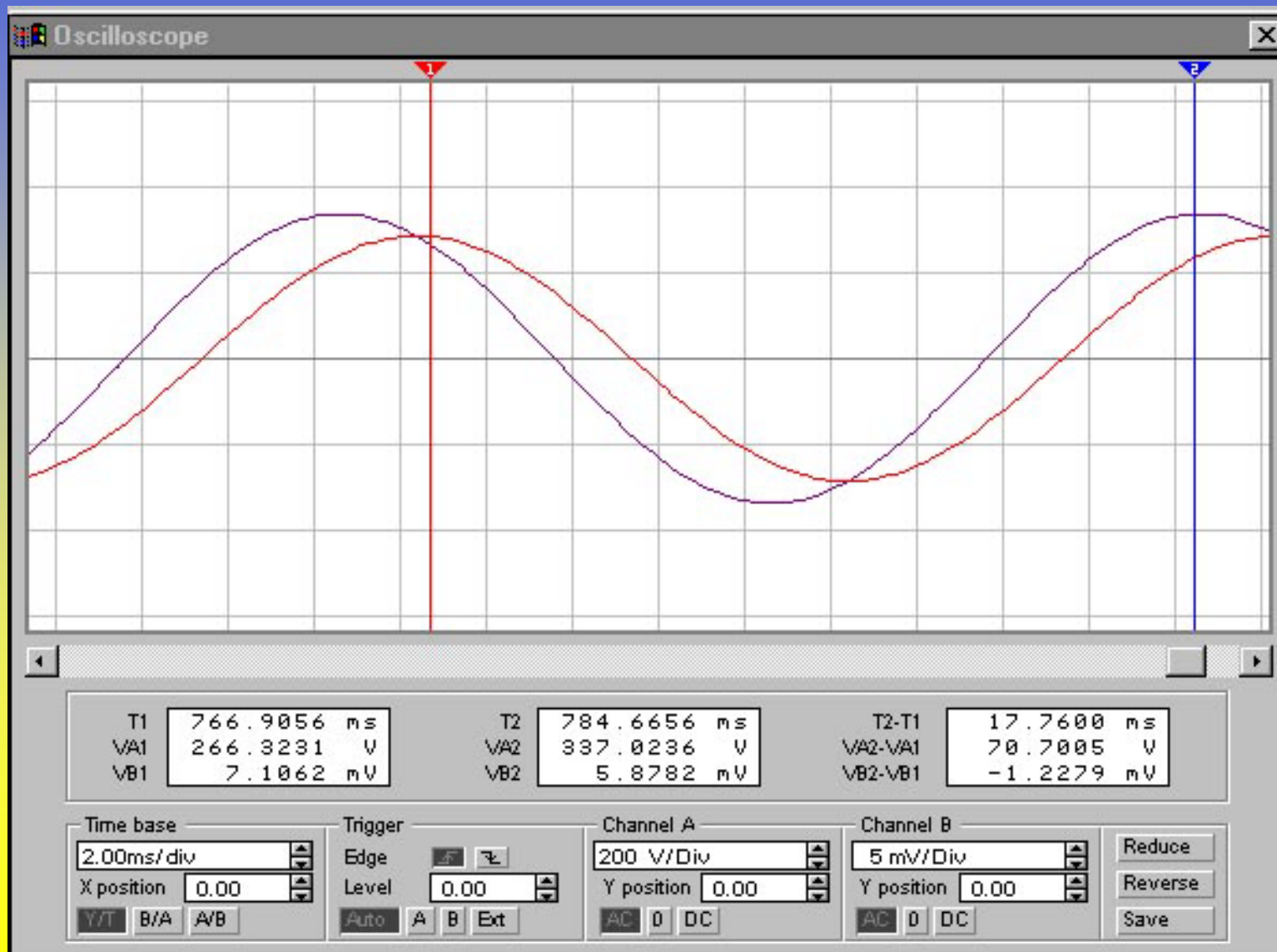
Pomiary elektryczne

Oscyloskop



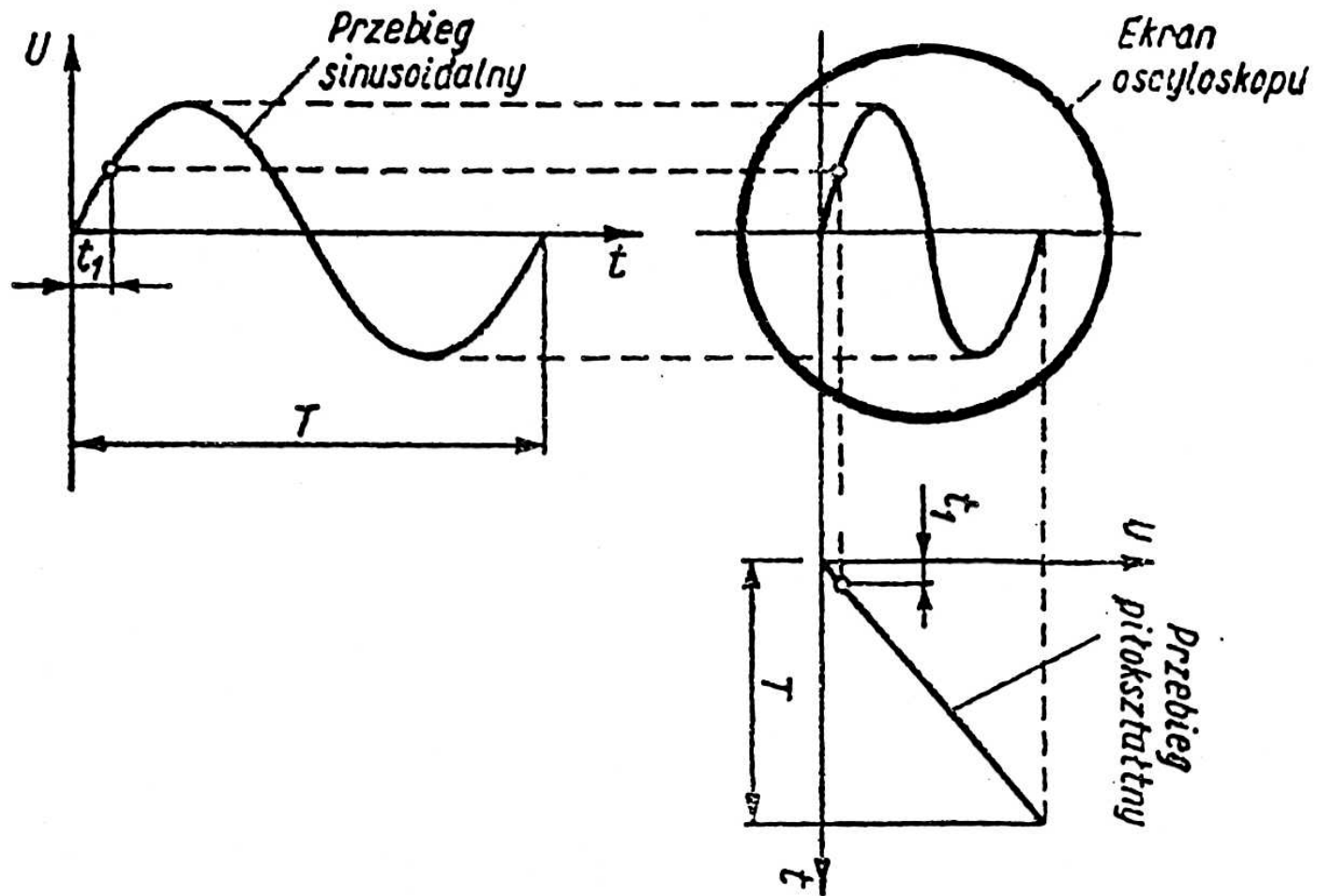
Pomiary elektryczne

Oscyloskop



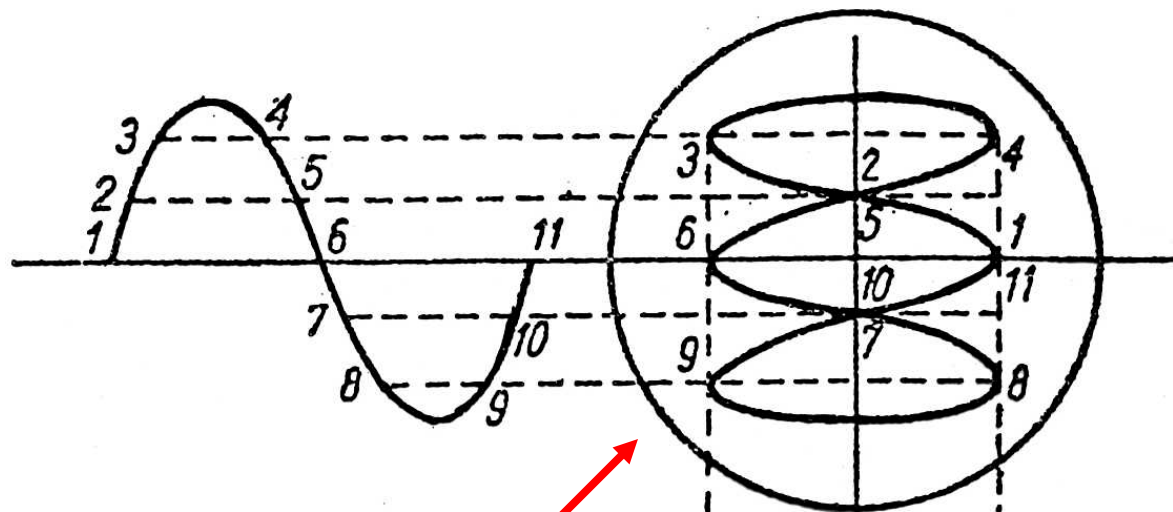
Pomiary elektryczne

Oscyloskop

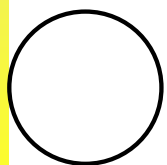


Pomiary elektryczne

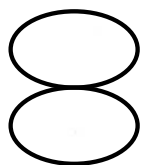
Oscyloskop



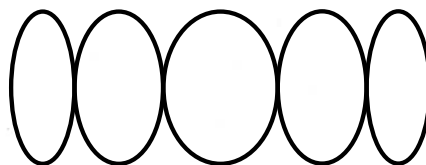
Krzywe Lissajous



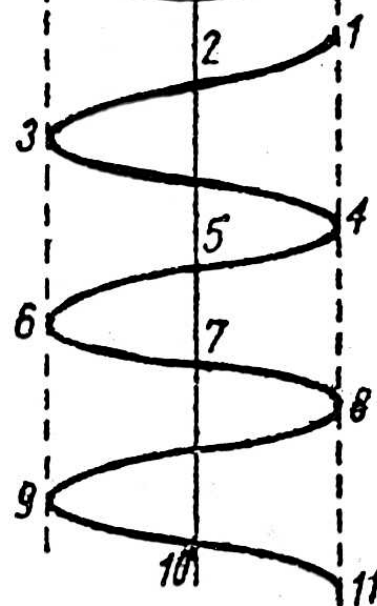
1:1



2:1

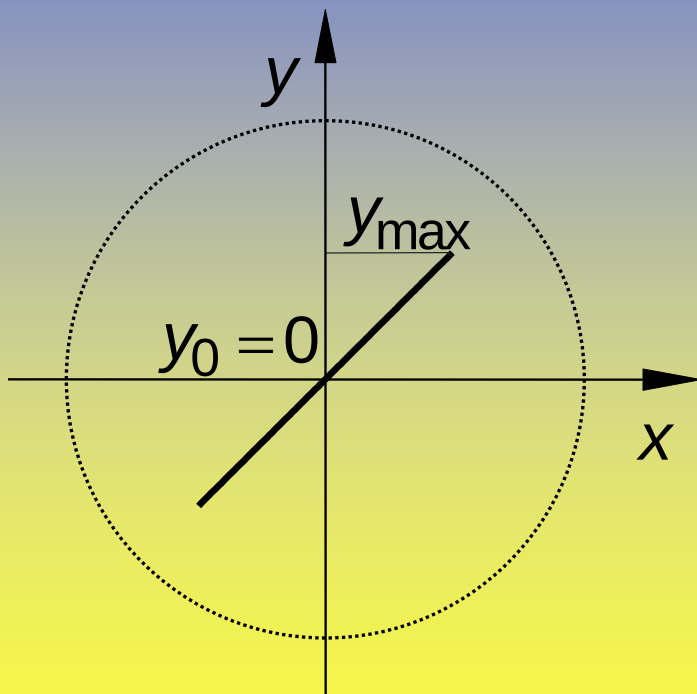


1:5



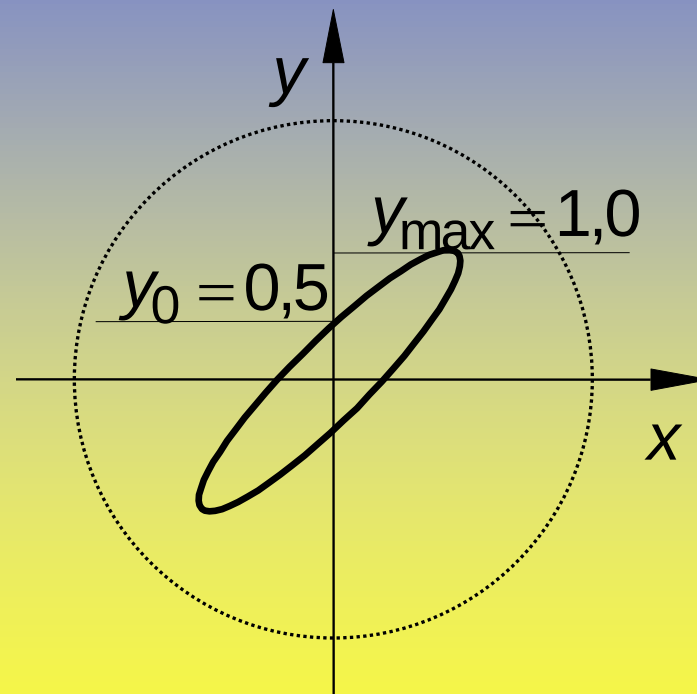
Pomiary elektryczne

Oscyloskop



$$\varphi = 0^\circ$$

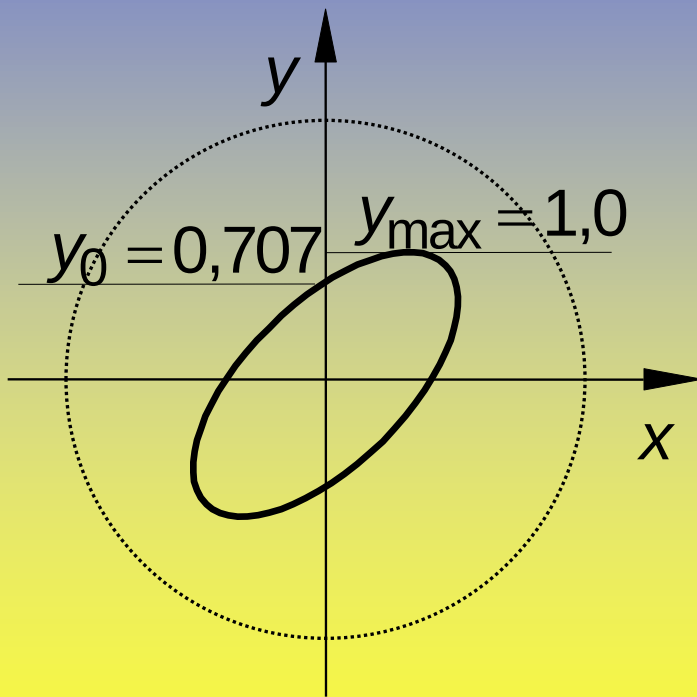
$$\sin \varphi = \frac{y_0}{y_{\max}}$$



$$\varphi = 30^\circ$$

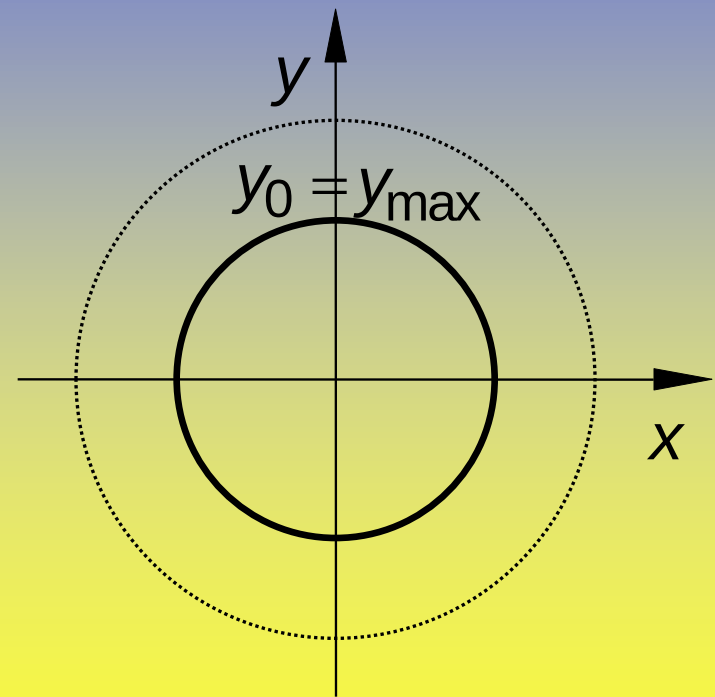
Pomiary elektryczne

Oscyloskop



$$\varphi = 45^\circ$$

$$\sin \varphi = \frac{y_0}{y_{\max}}$$



$$\varphi = 90^\circ$$

Pomiary elektryczne

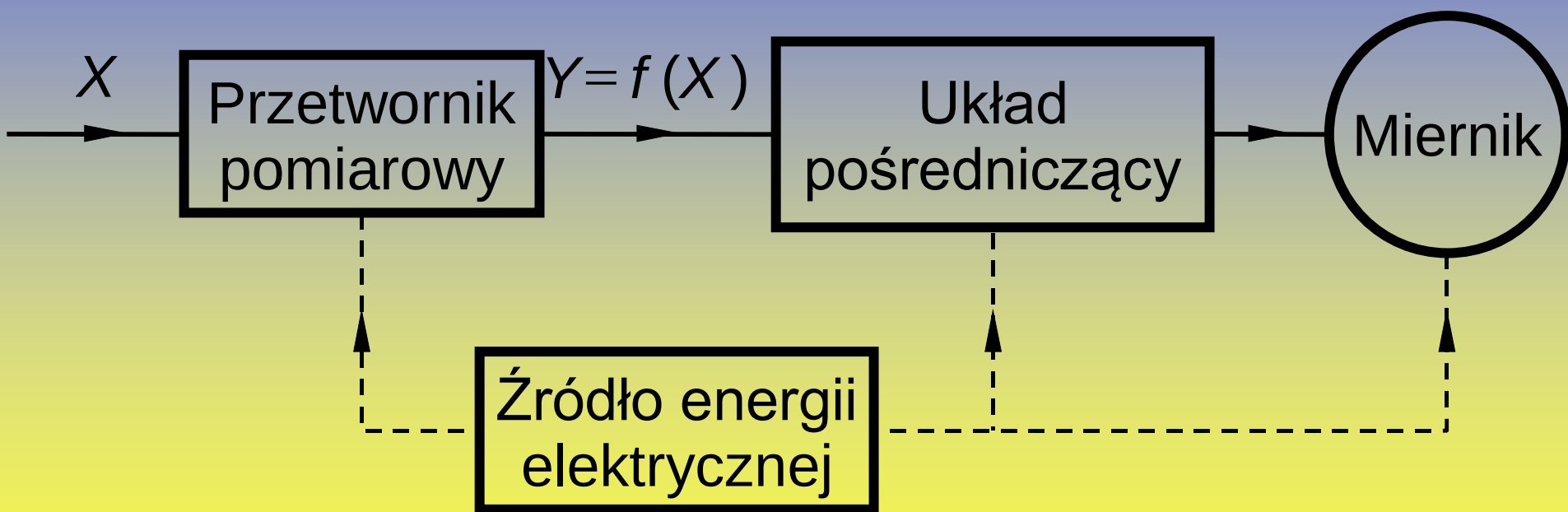
Pomiary wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi

W celu dokonania pomiaru wielkości nieelektrycznej należy zastosować specjalny element, który stanowi pierwszy, wejściowy człon danego przyrządu i który przetwarza mierzoną wielkość X na proporcjonalny sygnał elektryczny Y : $Y = f(X)$. Taki element nazywa się **przetwornikiem** lub często **czujnikiem**.

Przetwornik jest pewnym urządzeniem albo elementem, który przetwarza sygnał wejściowy na sygnał wyjściowy o innej postaci, np. mikrofon, wkładka adapterowa, barometr, komórka fotoelektryczna, samochodowy sygnał dźwiękowy, dzwonek do drzwi, itd. Czujnik reaguje na wartość absolutną albo na jakąkolwiek zmianę wielkości fizycznej, np. temperatury, ciśnienia, strumienia masy, pH, natężenia światła, dźwięku, fal radiowych itd. i przetwarza tę wartość albo zmianę na użyteczny sygnał wejściowy układu pośredniczącego, służącego do zbierania i dalszego przetwarzania informacji i danych pomiarowych.

Pomiary elektryczne

Pomiary wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi



Pomiary elektryczne

Pomiary wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi

Przetwornik jest zatem specjalnym rodzajem czujnika. Może być też tak, że czujnik jest elementem wejściowym przetwornika. W sytuacjach, gdy element ten nie kontaktuje się bezpośrednio z mierzonym obiektem lub nie zaburza (albo zaburza w bardzo słabym stopniu) procesu w nim się odbywającego, przetwornik taki nazywa się sondą. Kiedyś dopuszczano do kontaktu sondy z mierzonym obiektem albo procesem.

Elektryczny przetwornik pomiarowy przetwarza mierzoną wielkość nieelektryczną na napięcie, prąd albo ładunek i wówczas nie wymaga pomocniczego źródła energii elektrycznej. Nazywa się go przetwornikiem generacyjnym. Przetwornik, który pod wpływem mierzonej wielkości zmienia jeden lub więcej parametrów obwodu pomiarowego, np. R , L , C itp., nazywa się parametrycznym. Podczas jego pracy konieczne jest zasilanie go energią z zewnętrznego źródła. Pierwsze są przetwornikami czynnymi, natomiast drugie — biernymi.

Pomiary elektryczne

Pomiary wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi

Przetworniki generacyjne:

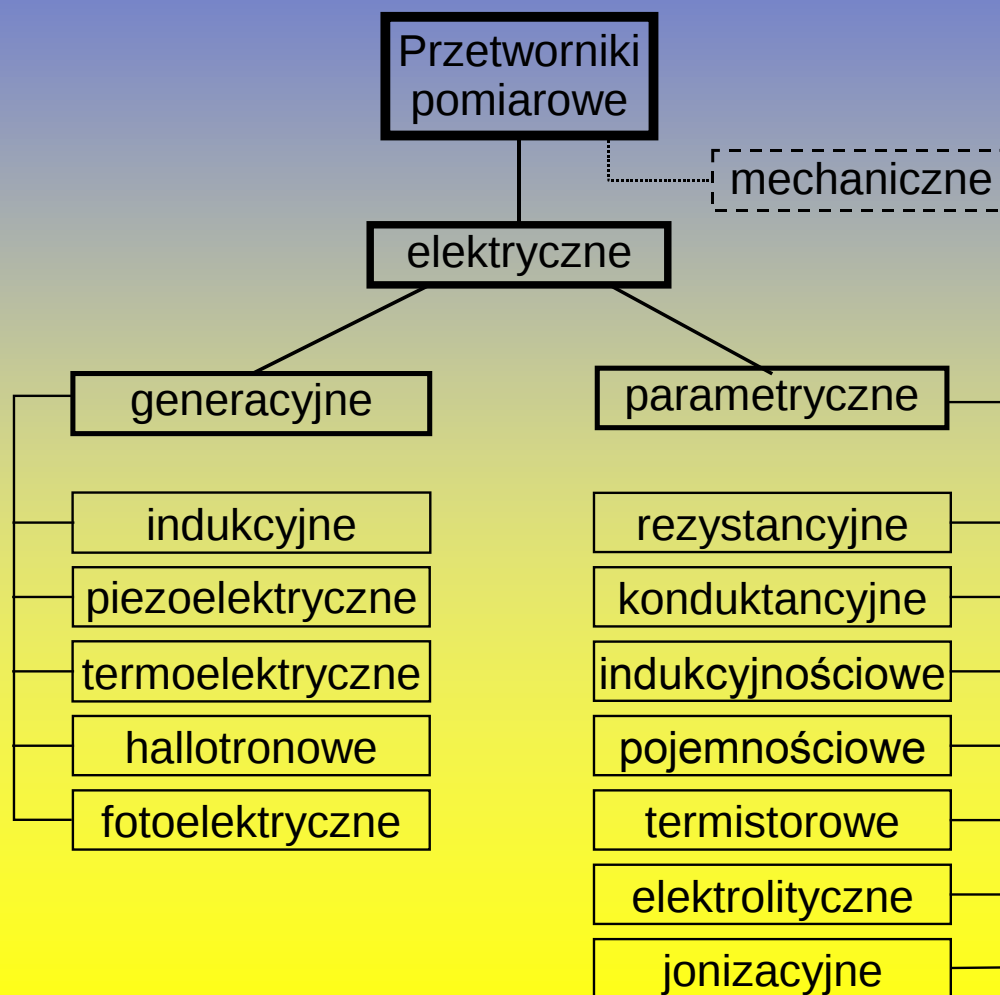
- i n d u k c y j n e (elektrodynamiczne, elektrostatyczne, reluktancyjne albo inaczej elektromagnetyczne itp.),
- p i e z o e l e k t r y c z n e,
- t e r m o e l e k t r y c z n e (na bazie termoelementów),
- h a l l o t r o n o w e (efekt Halla),
- f o t o e l e k t r y c z n e i inne.

Przetworniki parametryczne:

- r e z y s t a n c y j n e (potencjometryczne, tensometryczne itp.),
- i n d u k c y j n o ś c i o w e (transformatorowe różnicowe, wiroprowadowe itp.),
- p o j e m n o ś c i o w e,
- k o n d u k t a n c y j n e,
- t e r m i s t o r o w e,
- e l e k t r o l i t y c z n e,
- j o n i z a c y j n e i inne.

Pomiary elektryczne

Pomiary wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi



Pomiary elektryczne

Pomiary wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi

W przetworniku termoelektrycznym termoelement przetwarza temperaturę spoiny na odpowiednią wartość siły termoelektrycznej, tensometr natomiast przetwarza odkształcenie względne materiału sprężystego na odpowiednią zmianę rezystancji drutu oporowego, folii albo półprzewodnika. Ogólnie, przetworniki generacyjne same w sobie stanowią źródło energii elektrycznej, podczas gdy parametryczne sterują energią elektryczną doprowadzaną z zewnątrz i wymagają dodatkowego zasilania z zewnętrznego źródła energii.

W wielu przypadkach np. przetworników termoelektrycznych, indukcyjnościowych, pojemnościowych, fotoelektrycznych i innych odpowiednie czujniki mogą stanowić element gałęzi mostka pomiarowego, za pomocą którego — po jego zrównoważeniu i wzorcowaniu — określa się wartość przetworzonej wielkości mierzonej: $X = f^{-1}(Y)$, czyli określa się funkcję odwrotną.

Pomiary elektryczne

Pomiary wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi

Zastosowanie przetworników do pomiaru wielkości nieelektrycznych

Wejściowa wielkość nieelektryczna X Zastosowanie czujnika		Premieszczenie liniowe i kątowe	Prędkość	Przyspieszenie	Prędkość obrotowa	Sila	Ciśnienie	Moment obrotowy	Napężenie mechaniczne	Moc mechaniczna	Czas	Temperatura	Wydatek	Stężenie roztworów	Stężenie gazów	Wymiar liniowy	Wibracja	Prędkość gazu
		$\Delta l / \Delta \Omega$	v	$\frac{dv}{dt}$	n	F	p	M	σ	N	t	ϑ	V	c_w	c_p	l	$\frac{dl}{dt}$	V_g
Generacyjne	indukcyjny		x	x	x					x							x	
	piezoelektryczny					x	x										x	
	termoelektryczny											x						x
	hallotronowy	x				x	x										x	
	fotoelektryczny	x			x			x		x	x							
Parametryczne	rezystancyjny	x				x		x				x				x	x	
	konduktancyjny			x		x	x	x	x	x								
	termistorowy									x		x	x	x	x			x
	indukcyjnościowy	x				x	x	x								x	x	
	pojemnościowy	x	x			x	x	x							x	x	x	
	elektrolityczny													x				
	jonizacyjny														x	x		

