Miernictwo i pomiary elektryczne

Autor:

prof. dr inż. Tytko Ryszard

Podstawy elektrotechniki

Do zagadnień wchodzących w zakres elektrotechniki należą: wytwarzanie, przesyłanie, rozdzielanie, przetwarzanie energii elektrycznej.

Prąd stały

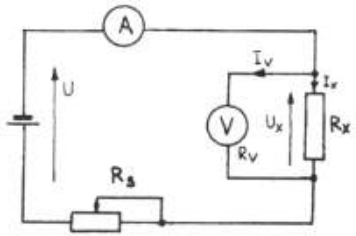
Prądem elektrycznym nazywamy stosunek ilości ładunku przepływającego przez przekrój przewodnika w małym przedziale czasu lub jest to zjawisko uporządkowanego ruchu ładunków elektrycznych przez badany przekrój poprzeczny środowiska pod działaniem pola elektrycznego.
Wyrażany jest za pomocą zależności:

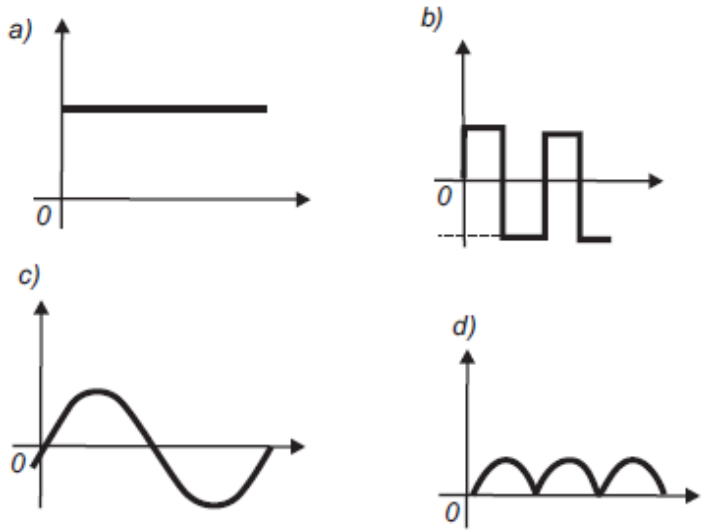
$$I = d_q/d_t$$

Prąd elektryczny

Jednostką prądu elektrycznego I jest 1 Amper, A.
Prąd stały jest to prąd, którego wartość i zwrot nie zmieniają się w funkcji czasu (a).
Jeżeli prąd elektryczny w funkcji czasu zmienia swą wartość, to prąd taki nazywa się zmiennym (b, c, d).

Pomiar prądu dokonuje się amperomierzem, włączając go w obwód szeregowo z odbiornikiem.





Napięcie elektryczne

Napięcie między punktami A i B jest to rożnica potencjałow między tym punktami i wyraża się wzorem:

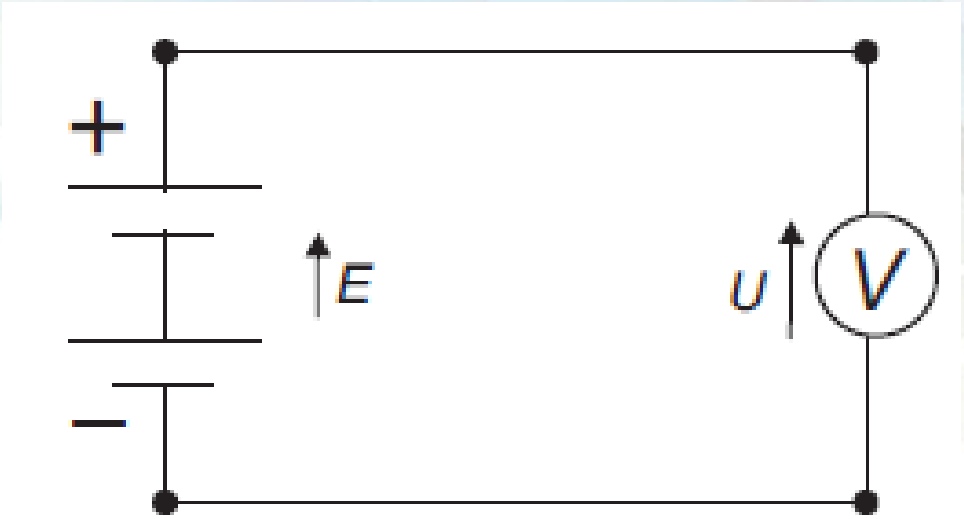
$$U = V_A - V_B$$

Gdzie:

V_A i V_B – *potencjały punktów A i B.*

Jednostką napięcia U jest 1 Volt, V.

Napięcie mierzy się woltomierzem, który należy włączyć równolegle z odbiornikiem.



Obwody elektryczne

Obwód elektryczny jest to zespół elementów tworzących najmniej jedną zamkniętą drogę dla przepływu prądu elektrycznego.

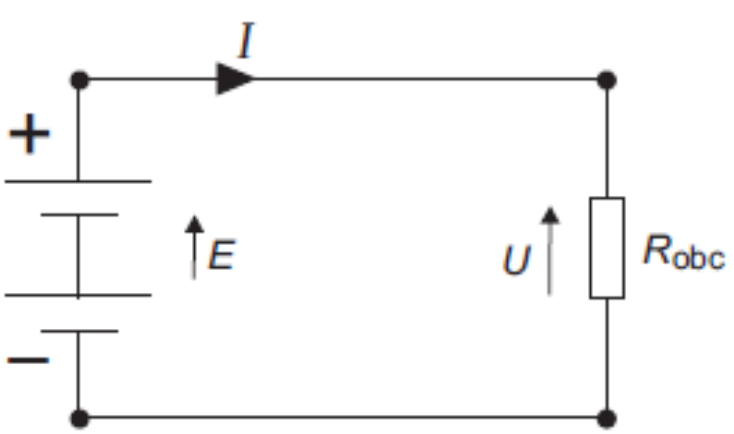
Podstawowymi elementami obwodu elektrycznego są:

– źródła napięcia;

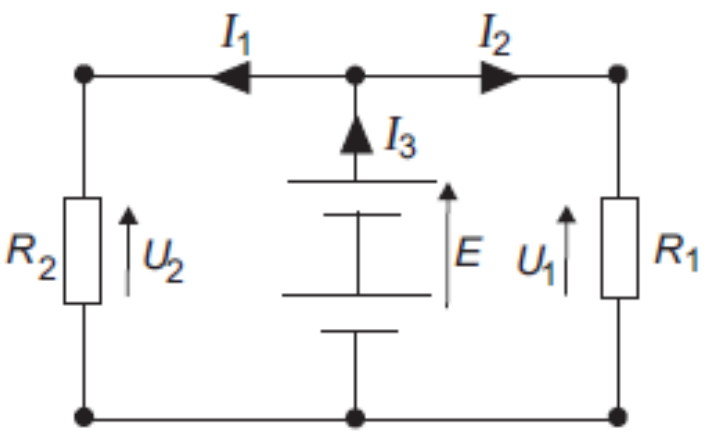
– odbiorniki;

– przewody łączące w/w elementy.

Obwód może być nierozgałęziony lub rozgałęziony.



Schemat obwodu elektrycznego nierozgałęzionego



Schemat obwodu elektrycznego rozgałęzionego

Prawo Ohma

W obwodach prądu stałego prawo Ohma ma postać:

$$I = U/R$$

Prąd w obwodzie jest wprost proporcjonalny do przyłożonego napięcia, a odwrotnie

proporcjonalny do rezystancji obwodu.

Jednostką rezystancji *R jest 1 ohm, Ω.*

Obliczanie rezystancji

Rezystancję jednorodnego przewodnika wyraża wzór:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} = \frac{l}{\gamma \cdot S}$$

gdzie:

R – *rezystancja, Ω;*

l – długość przewodnika, m;

S – przekrój poprzeczny przewodnika, mm2;

ρ – rezystywność w $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$;

γ – konduktywność w $\frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$.

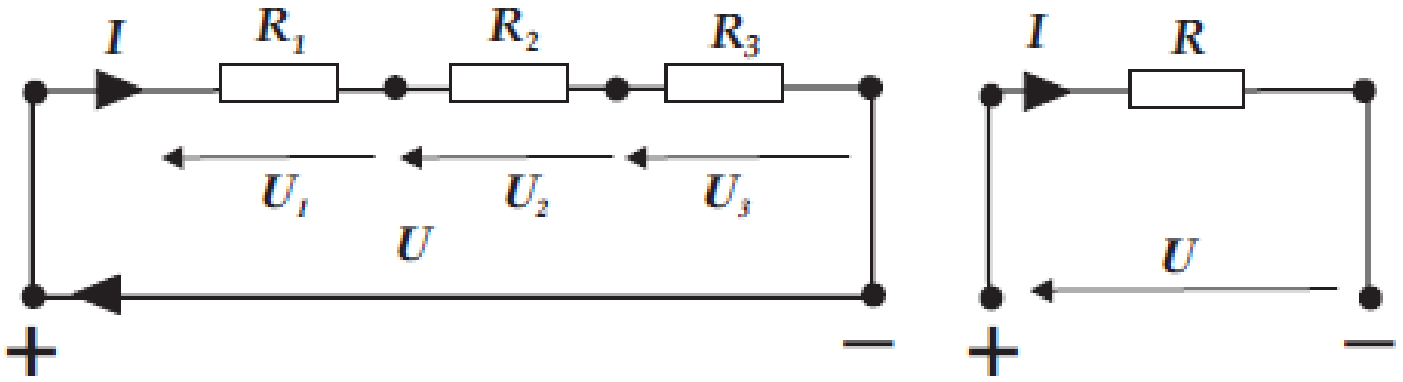
Łączenie rezystorów

Rezystancja zastępcza dowolnej liczby rezystorów połączonych szeregowo jest równa sumie rezystancji poszczególnych rezystorów.

Rezystancję wypadkową szeregowo połączonych „n” rezystorów (oporników) oblicza

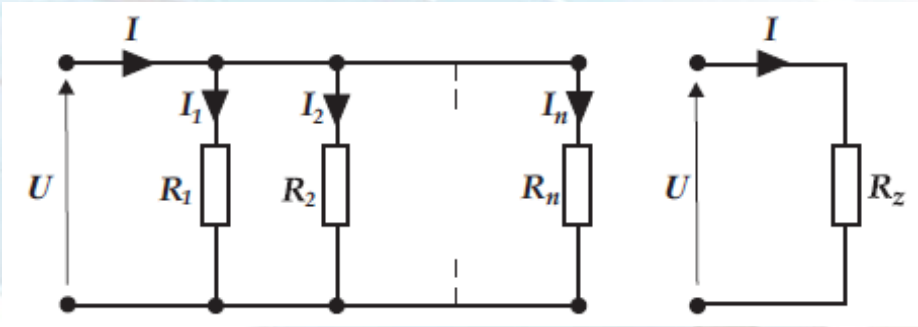
się ze wzoru:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots\ldots R_n$$



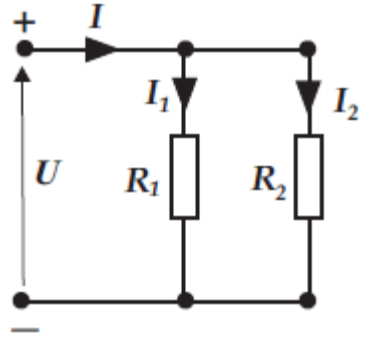
Rezystancję zastępczą równolegle połączonych n rezystorów oblicza się ze wzoru:

$$\frac{1}{R_z} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_n}$$



W przypadku połączenia dwóch rezystorów równolegle ich rezystancję oblicza się ze wzoru.

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$



Zależność rezystancji od temperatury

W czasie przepływu prądu przez przewodnik następuje jego grzanie.

Rezystancję przewodu w zależności od temperatury wyraża wzór:

$$R_T = R_O [1 + \alpha (T - T_o)]$$

gdzie:

R_T – rezystancja przewodu w temperaturze T;

R_o – rezystancja przewodu w temperaturze 20°C;

α – współczynnik temperaturowy rezystancji, 1/* C.

Źródła prądu stałego

Źródła prądu stałego mogą być:

– elektromechaniczne – prądnice maszynowe prądu stałego;

– chemiczne – ogniwa, akumulatory;

– świetlne – fotoogniwa;

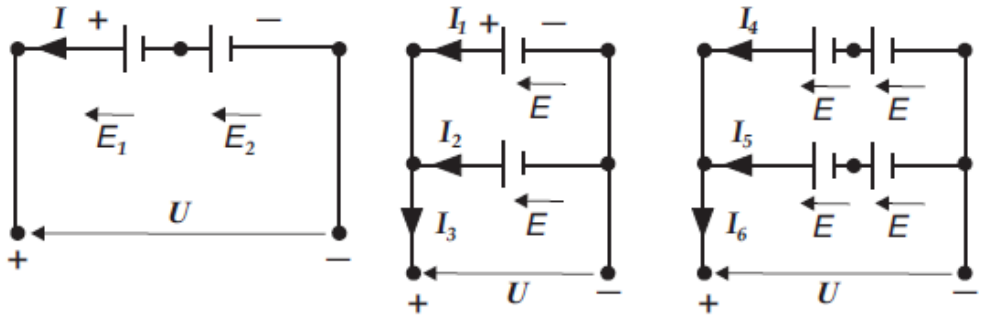
– paliwowe – wodorowe;

– cieplne – termoelektryczne.

W celu uzyskania wyższego napięcia lub wyższego prądu ogniwa lub akumulatory łączymy w baterie.

Przy połączeniu szeregowym dowolnej liczby źródeł napięcia (o tych samych parametrach), napięcie źródła zastępczego jest równe sumie algebraicznej poszczególnych napięć źródłowych.

Przy połączeniu równoległym dowolnej ilości źródeł napięcia (o tych samych parametrach), napięcie źródła zastępczego jest równe napięciu jednego ogniwa.



Łączenie ogniw: a) szeregowe; b) równoległe; c) mieszane.

Prawa obwodu elektrycznego

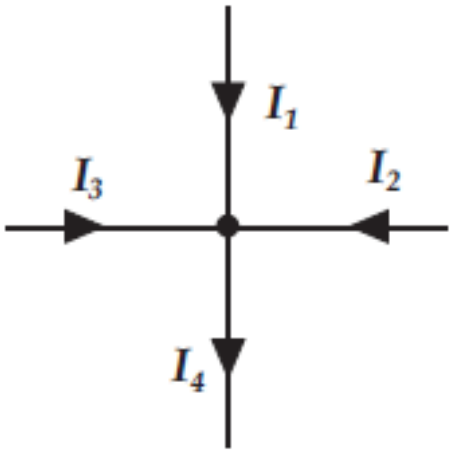
Pierwsze prawo Kirchhoffa

W obliczeniach obwodów elektrycznych obok prawa Ohma wykorzystuje się dwa prawa Kirchhoffa.

Pierwsze prawo Kirchhoffa można sformułować następująco: dla każdego węzła obwodu elektrycznego suma algebraiczna prądów jest równa zeru lub suma prądów dopływających do węzła jest równa sumie prądów wypływających z węzła. Jego zapis wygląda następująco:

$$I_1 + I_2 + I_3 - I_4 = 0$$

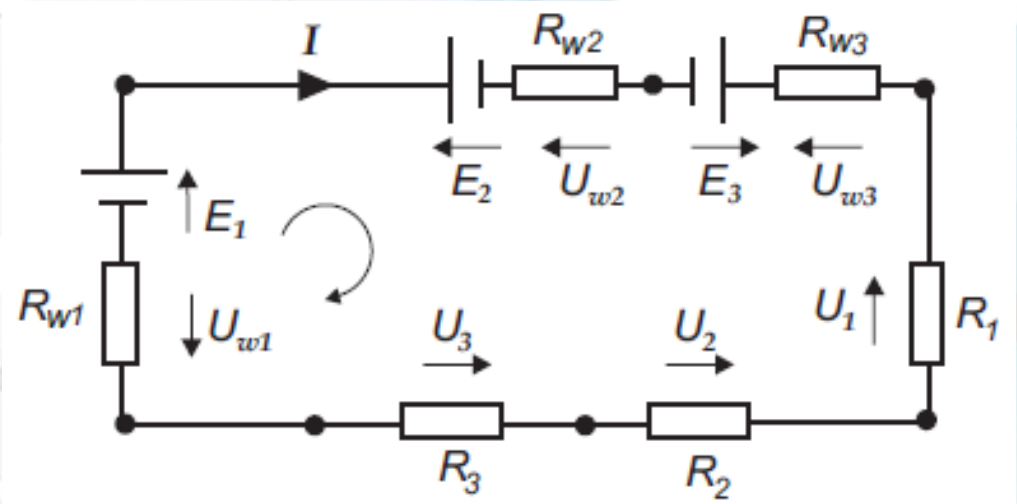
W równaniach prądy dopływające do węzła traktuje się jako dodatnie, a prądy wypływające jako ujemne.



Drugie prawo Kirchhoffa

Drugie prawo Kirchhoffa, dotyczące bilansu napięć w elektrycznym obwodzie zamkniętym prądu stałego (oczku), definiuje się: suma algebraiczna napięć źródłowych

E jest równa sumie algebraicznej napięć odbiornikowych U, czyli spadków napięć.



Zgodnie z II prawem Kirchhoffa w obwodzie przedstawionym na rysunku należy napisać:

$$E - 1\,E_2 + E_3 = I * R_{w1} + I * R_1 + I * R_{w2} + I * R_2 + I * R_{w3} + I * R_3$$

Stany pracy źródeł energii elektrycznej

Praca źródła przy rezystancji R odbiornika równej nieskończoności, której odpowiada przerwa w obwodzie, nazywa się stanem jałowym źródła.

Stan pracy źródła przy dowolnej wartości rezystancji nazywa się stanem obciążenia źródła.

Stan pracy źródła przy rezystancji obciążenia R równej zero, której odpowiada zwarcie odbiornika, nazywa się stanem zwarcia źródła.

Należy zaznaczyć, że każde rzeczywiste źródło napięcia można zastąpić równoważnym rzeczywistym źródłem prądu.

Moc prądu stałego

Moc prądu stałego definiowana jest jako iloczyn napięcia U i prądu I.

$$P = U * I$$

Po przekształceniu można zapisać:

$$P = I^2 * R$$

lub

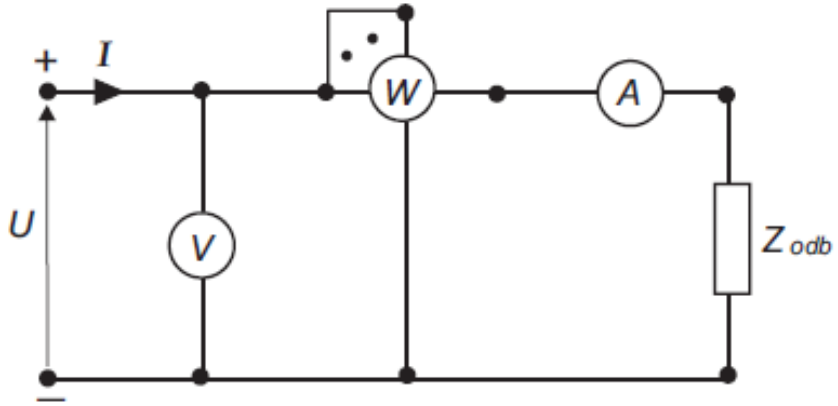
$$P = U^2 / R$$

gdzie:

P – moc, W; U – *napięcie, V;*

I – prąd, A; R – rezystancja, Ω.

Pomiar mocy wykonuje się watomierzem



Energia prądu stałego

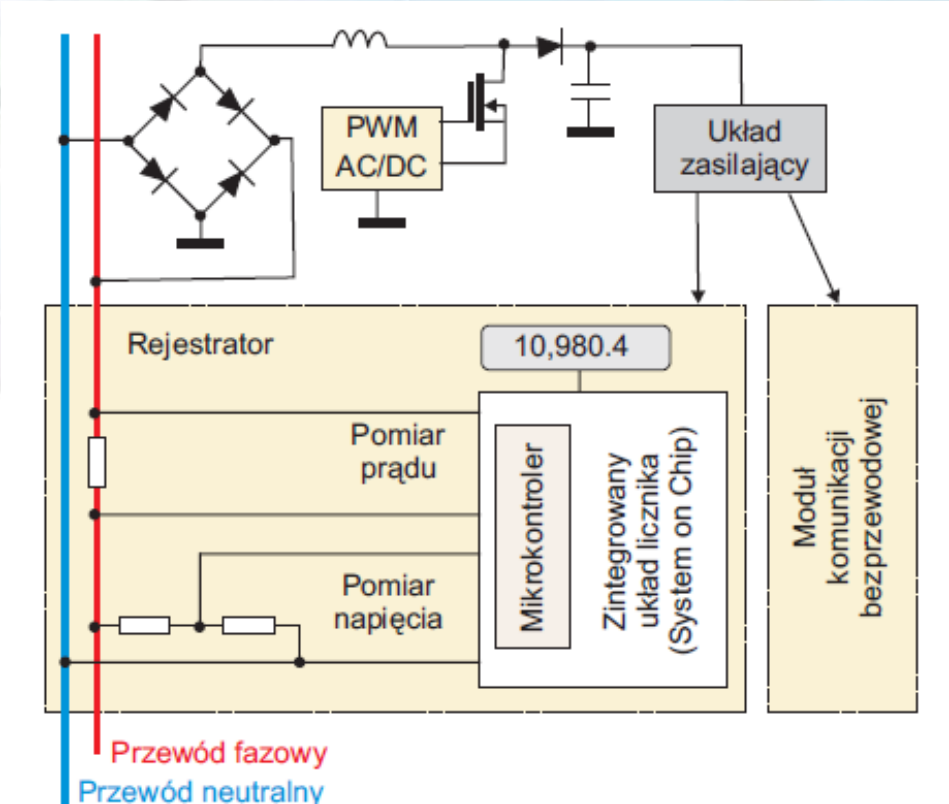
Energia elektryczna prądu stałego *W pobrana w czasie t przez odbiornik zasilany*

napięciem U, przez który płynie prąd I wyraża się wzorem:

$$W = U * I * t$$

Jednostką energii jest kilowatogodzina, kWh.

Liczniki energii elektrycznej wskazują zużycie energii w kWh czyli $3,6 . 10^6$J.



Prawo Joule'a – Lenza

Energia elektryczna może zostać na rezystorze (przewodniku) zamieniona na ciepło.

Ilość ciepła Q_c wydzielonego na rezystorze pod wpływem przepływu prądu elektrycznego jest proporcjonalna do rezystancji *R* *przewodnika, do kwadratu prądu płynącego* przez niego oraz do czasu przepływu *t*.

Jednostką ciepła Q_c jest 1 dżul, J.

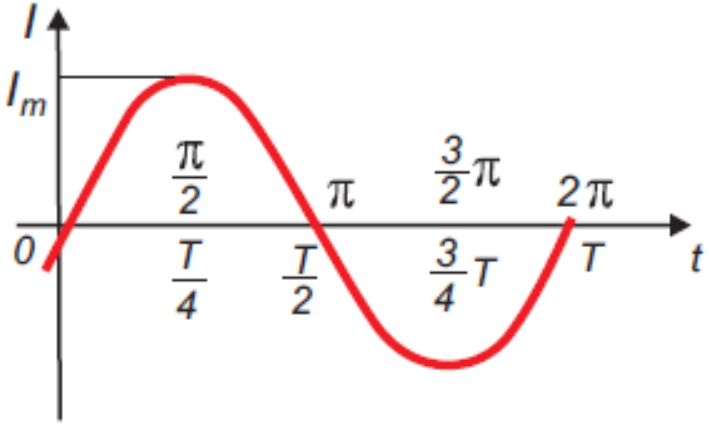
$$Q_c = I^2 * R * t$$

Prąd przemienny jednofazowy

Prąd lub napięcie nazywa się zmiennym, jeżeli w czasie ulega zmianie jego wartość liczbowa przy niezmienionym zwrocie lub zmienia się zwrot przy niezmienionej wartości liczbowej lub ulega zmianie zarówno zwrot, jak również wartość liczbowa.

Źródłami prądu przemiennego są prądnice maszynowe trójfazowe (generatory) synchroniczne lub asynchroniczne jak również falowniki.

Podstawowe wielkości, charakteryzujące przebiegi sinusoidalne, można określić następującymi parametrami:



i – wartość chwilowa prądu, A;
u – wartość chwilowa napięcia, V;
I_m – wartość maksymalna (amplituda), A;
ω – pulsacja (prędkość kątowa), rad/s;
t – czas, s;
T – okres prądu sinusoidalnego, s;
f – częstotliwość, Hz;
α – faza początkowa, rad;
Φ – kąt przesunięcia fazowego, rad.

Wartość skuteczną prądu i napięcia sinusoidalnego oblicza się odpowiednio ze wzorów:

$$I = \frac{Im}{\sqrt{2}}, \qquad U = \frac{Um}{\sqrt{2}}$$

W praktyce mierzy się je za pomocą mierników elektromagnetycznych, elektrodynamicznych, elektronicznych.

Napięcia i prądy sinusoidalne mają często jednakową częstotliwość, różnią się amplitudą i fazą początkową.

Obwód elektryczny z rezystancją

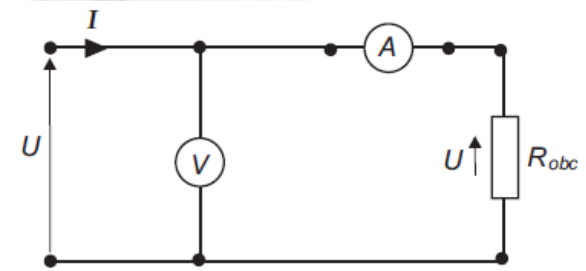
W obwodzie tym napięcie i prąd są w fazie, oznacza to, że kąt φ między prądem i napięciem jest równy zero.

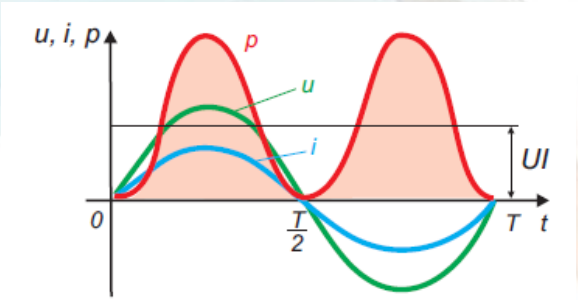
Dla tego typu obwodu można zapisać prawo Ohma w postaci:

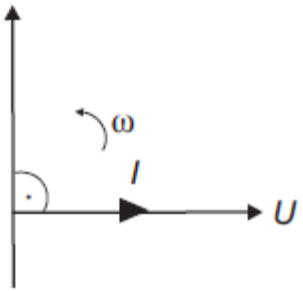
$$I_m = U_m/R$$

oraz dla wartości skutecznych:

$$I = U/R$$







Obwód elektryczny z cewką o indukcyjności L (reaktancją indukcyjną)

Reaktancję indukcyjną (opór bierny) X wyraża się w omach, wyznacza się ze wzoru:

$$X_L = \omega * L = 2\pi * f * L$$

gdzie:

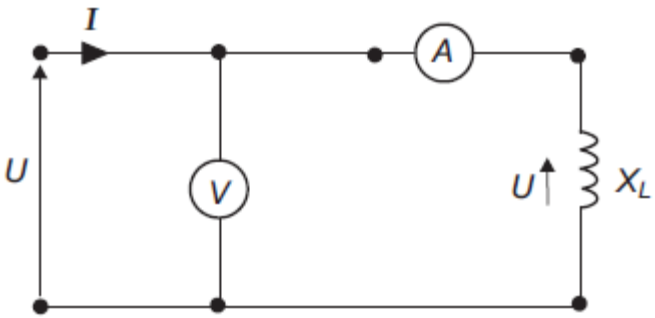
L – indukcyjność cewki w henrach, H;

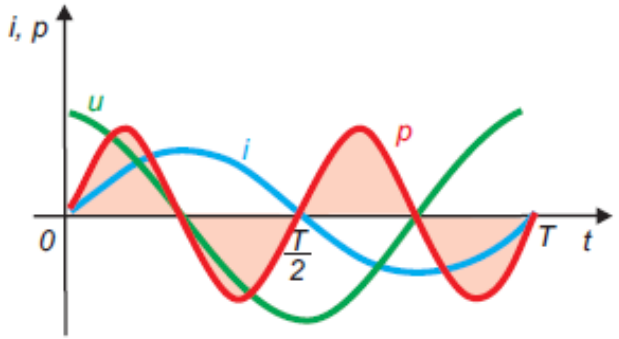
Korzystając z prawa Ohma można wyliczyć prąd maksymalny płynący w obwodzie:

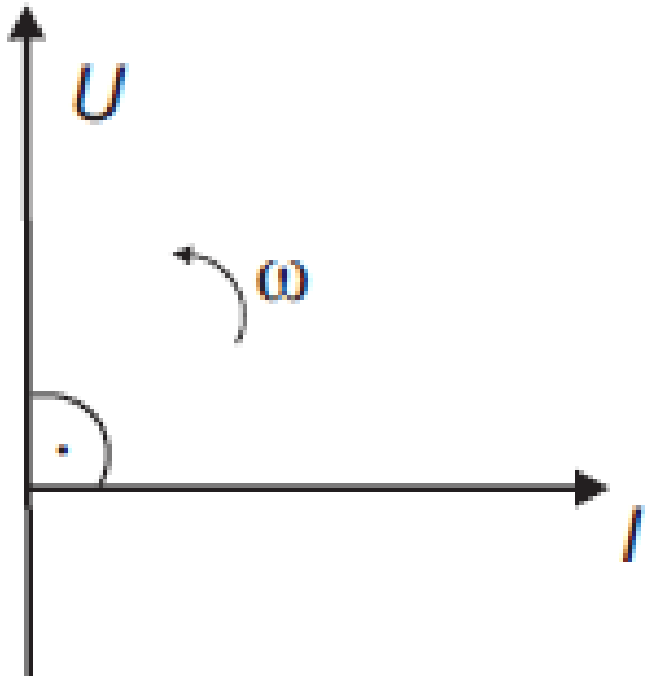
$$X_L = Im/Um$$

Wartość skuteczną prądu płynącego w obwodzie obliczyć można z zależności:

$$I = U/X_L$$







Na postawie wykresu można stwierdzić, że wektor napięcia wyprzedza wektor prądu o 90°, **bowiem zakłada się, że prędkość wirowania ω odbywa się przeciwnie** do ruchu wskazówek zegara.

Obwód elektryczny z kondensatorem o pojemności C (reaktancją pojemnościową)

Reaktancję pojemnościową (opór bierny) X_C wyraża się w omach, wyznacza się ze wzoru:

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

gdzie:

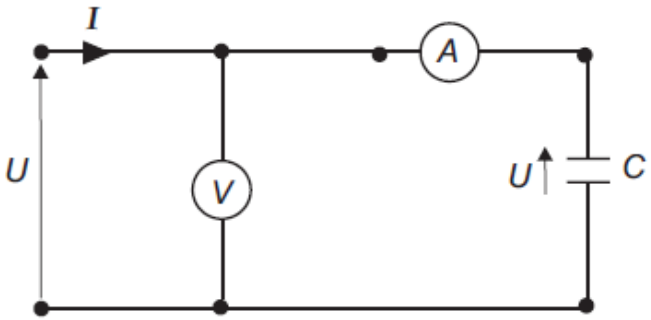
C – pojemność kondensatora w faradach, F;

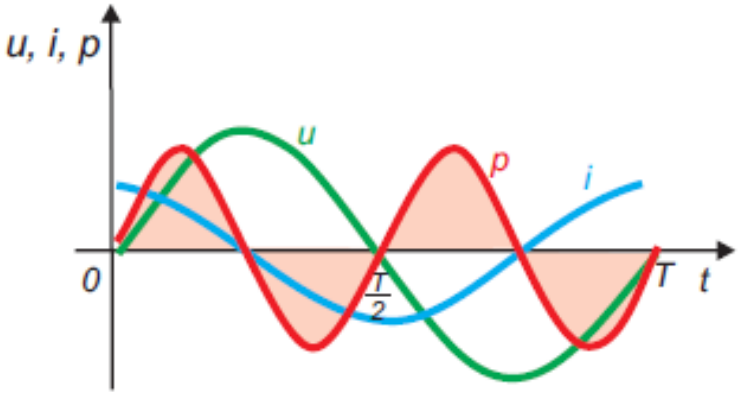
Korzystając z prawa Ohma można wyliczyć prąd maksymalny płynący w obwodzie:

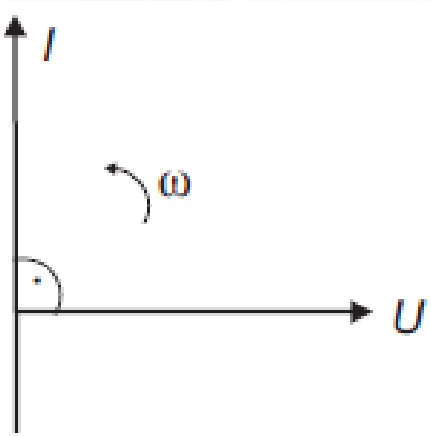
$$Im = \frac{Um}{X_c}$$

Wartość skuteczną prądu płynącego w obwodzie oblicza się z zależności:

$$I = \frac{U}{X_c}$$



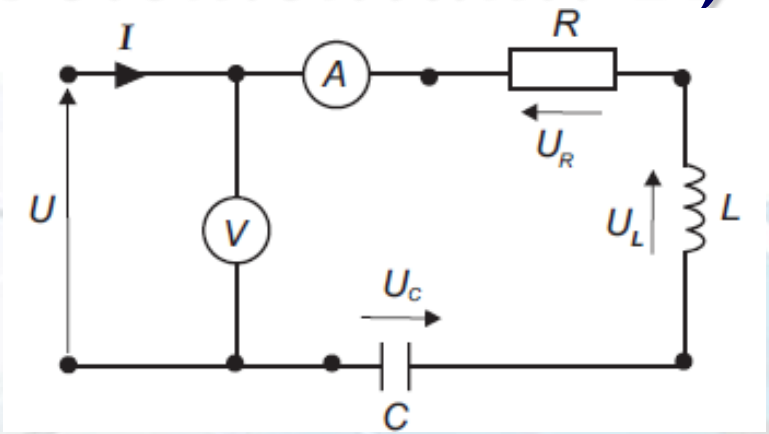




Na postawie wykresu można stwierdzić, że wektor prądu wyprzedza wektor napięcia o 90°.

Prąd zmienny (prąd przesunięcia) płynący w obwodzie z kondensatorem nazywa się prądem ładowania kondensatora. Jest on proporcjonalny do prędkości zmian w czasie napięcia na jego okładzinach.

Obwód elektryczny szeregowy z elementami R, L, C



W obwodzie płynie prąd zmienny zależny od wielkości napięcia zasilającego i impedancji zastępczej.

Wielkość napięcia zasilającego jest geometryczną sumą napięć odkładanych na odbiornikach.

Impedancję zastępczą Z (opór bierny) wyraża się w omach, wyznacza się ze wzoru.

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

gdzie:

$$X = X_L - X_C$$

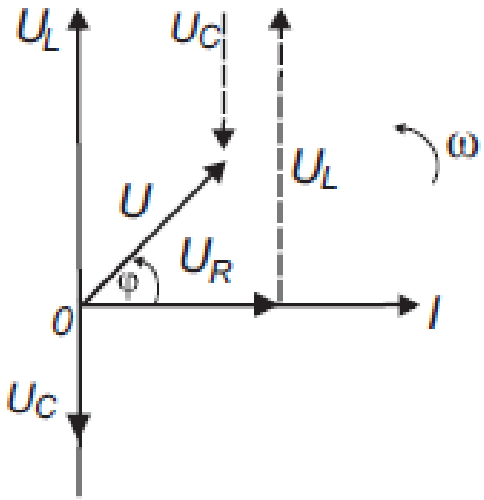
X – reaktancja dwójnika L, C w omach, Ω;

Wartość reaktancji X może być większa, równa (rezonans napięć) lub mniejsza

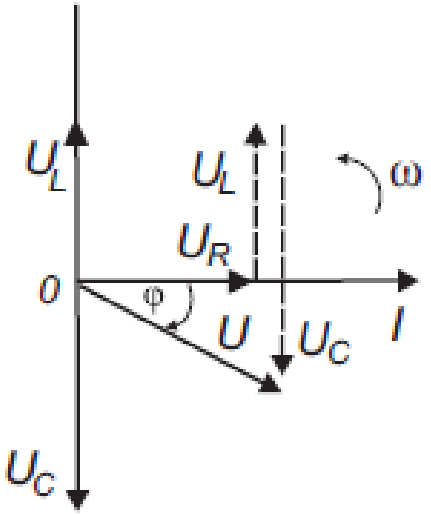
od zera w zależności rodzaju obciążenia (pojemnościowego, indukcyjnego).

Wielkość prądu wyznacza się ze wzoru:

$$I = U/Z$$

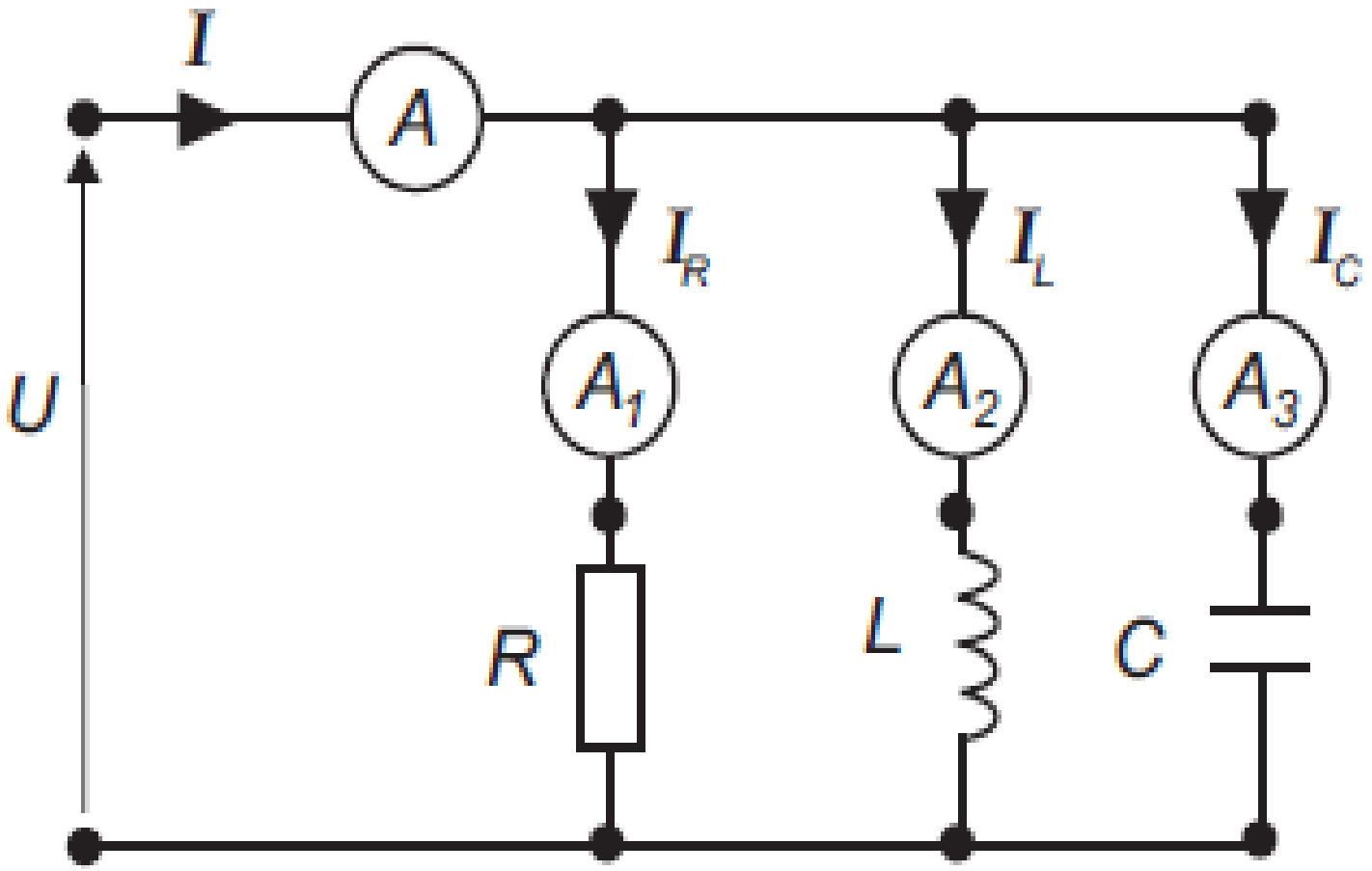


Wykres wektorowy wartości skutecznych prądu i napięć przy obciążeniu szeregowym obwodu odbiornikami R, L, C (obciążenie czynno-indukcyjne)



Wykres wektorowy wartości skutecznych prądu i napięć przy obciążeniu szeregowym obwodu odbiornikami R, L, C (obciążenie czynno-pojemnościowe)

Obwód elektryczny równoległy z elementami R, L, C



Na odbiornikach występuje ta sama wielkość napięcia.

Wielkość prądu zasilającego obwód jest geometryczną sumą prądów płynących przez odbiorniki.

Do analizy obwodu wprowadza się dodatkowe oznaczenia.

Wielkość Y nazwa się admitacją lub przewodnością pozorną (S – Simens) i wyraża się wzorem:

$$Y = \sqrt{G^2 + (B_C - B_L)^2}$$

lub

$$Y = \sqrt{G^2 + B^2}$$

po przekształceniu:

$$G = \frac{1}{R}, \qquad B_C = \omega \cdot C, \qquad B_L = \frac{1}{\omega \cdot L}$$

gdzie:

Y – admitancja w simensach, S;

G – konduktancja w simensach, S;

$$B = B_C - B_L$$

B_C – susceptancja pojemnościowa w simensach, S;

B_L – susceptancja indukcyjna w simensach, S;

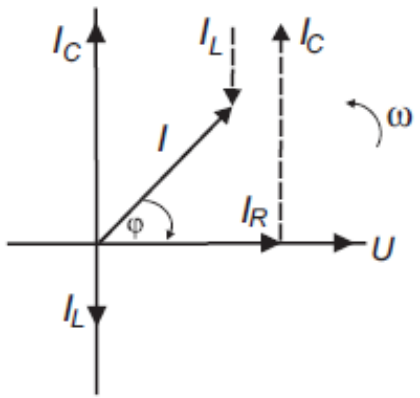
Wartość susceptancji B może być większa, równa (rezonans napięć) lub mniejsza od zera w zależności rodzaju obciążenia (pojemnościowego, indukcyjnego).

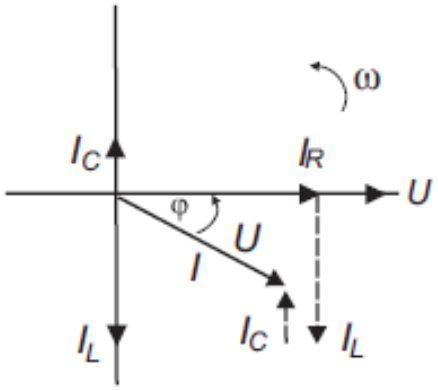
Słuszny jest również zapis:

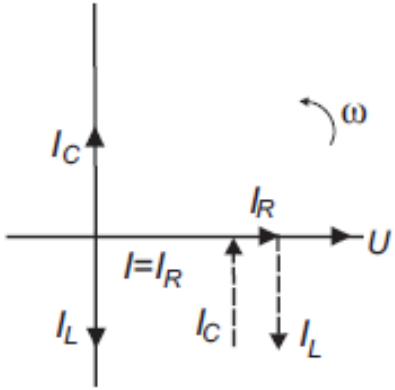
$$Y = 1/Z$$

Prąd w obwodzie będzie geometryczną sumą prądów płynących w odbiornikach

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2}$$



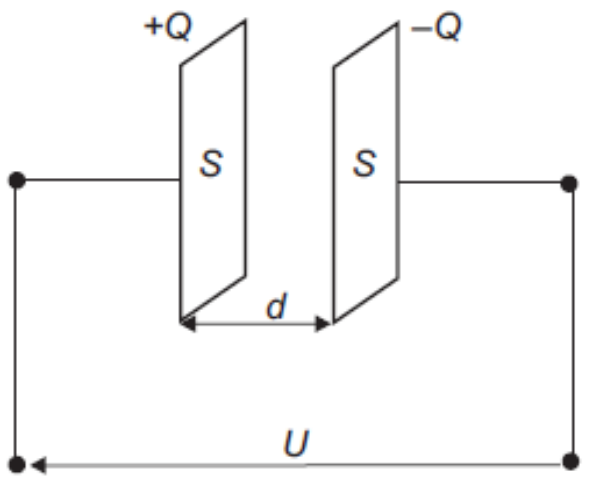




Kondensatory

Pojemność kondensatora

Kondensatorem nazywa się urządzenie, które składa się z dwóch przewodników zwanych okładzinami, rozdzielonych dielektrykiem. Pojemność kondensatora *C jest* cechą charakterystyczną kondensatora, określającą jego zdolność do gromadzenia ładunku elektrycznego.



Pojemność kondensatora płaskiego można obliczyć ze wzoru:

$C = (\varepsilon * S)/d$

gdzie:

C – pojemność kondensatora w faradach, F;

S – powierzchnia okładziny w m2;

ε – przenikalność bezwzględna dielektryka w F/m;

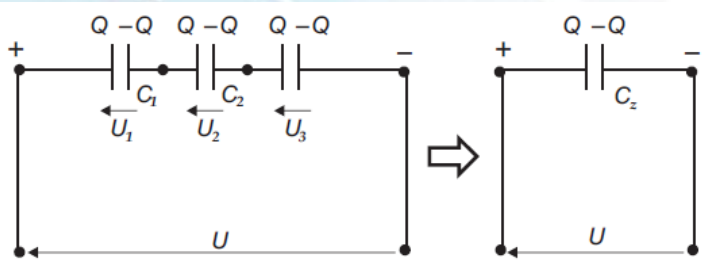
d – odstęp miedzy okładzinami w m.

Jednostką pojemności *C jest jeden farad, F*.

Łączenie kondensatorów

Pojemność wypadkowa (zastępczą) szeregowo połączonych kondensatorów oblicza się ze wzoru:

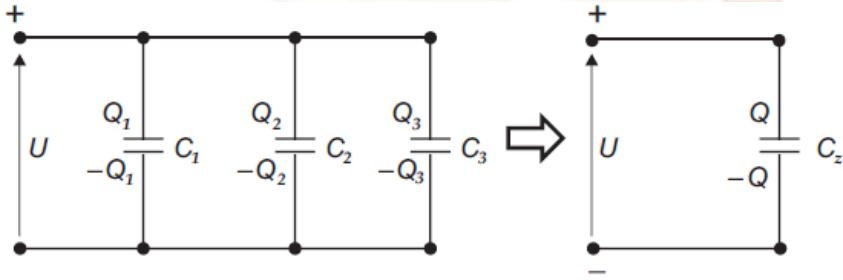
$$\frac{1}{C_z} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$



Połączenie szeregowe kondensatorów.

Pojemność wypadkową (zastępczą) równolegle połączonych kondensatorów oblicza się ze wzoru:

$$C_z = C_1 + C_2 + C_3 = C_n$$



Połączenie równoległe kondensatorów

Moc prądu przemiennego jednofazowego

Moc czynna

Mocą czynną nazywa się wartość średnią mocy chwilowej. Jest ona iloczynem napięcia, prądu i kosinusa kąta przesunięcia między prądem i napięciem.

$$P = U * I * \cos\varphi$$

gdzie:

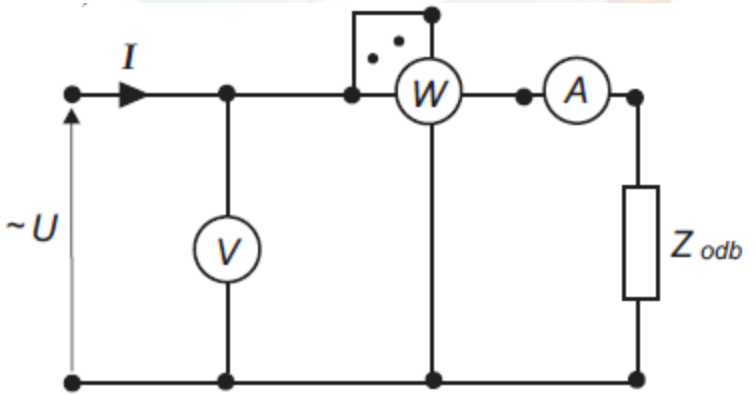
U – napięcie, V;

I – prąd, A;

cosφ – współczynnik mocy, przyjmuje wartość od 1 (obciążenie czynne (rezystancyjne) do +, – 1 obciążenie indukcyjne lub pojemnościowe;

φ – kąt przesunięcia między prądem a napięciem.

Jednostką mocy czynnej jest wat, W.



Moc bierna

Mocą bierną nazywa się wartość średnią mocy chwilowej. Jest ona iloczynem napięcia, prądu i sinusa kąta przesunięcia między prądem i napięciem.

$$Q = U * I * \sin\varphi$$

Moc bierna, zależna od sinusa kąta fazowego, może mieć wartość dodatnią, gdy układ jest obciążony odbiornikiem rezystancyjno-indukcyjnym, lub ujemną, gdy układ jest obciążony odbiornikiem rezystancyjno-pojemnościowym.

Jednostką mocy biernej jest war, Var.

Moc pozorna

Moc pozorna definiuje się jako iloczyn wartości skutecznych prądu i napięcia.

$$S = U * I$$

Z powyższego wzoru wynika, że moc pozorna jest równa największej wartości mocy czynnej, którą można otrzymać przy danym napięciu U i prądzie I.

Jej wartość znamionowa ma istotne znaczenie dla urządzeń elektrycznych, ze względu na m. in. nagrzewanie maszyn elektrycznych w czasie pracy.

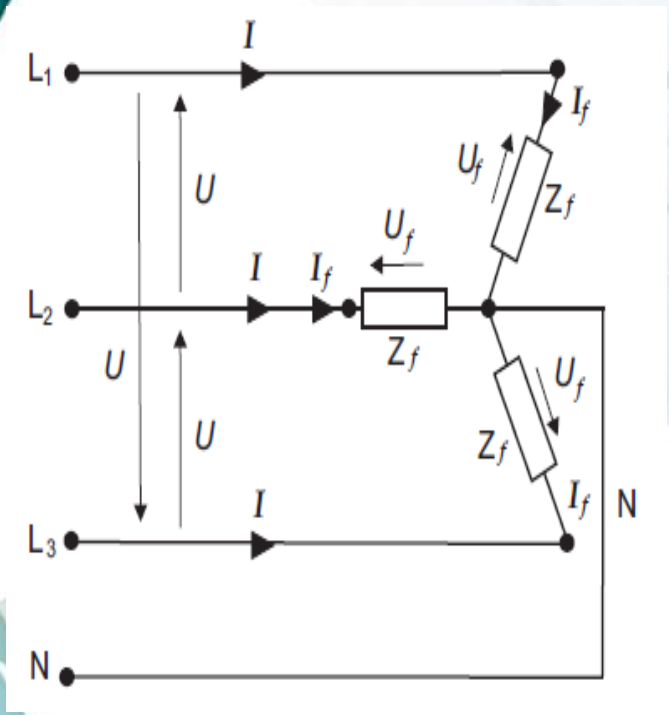
Jednostką mocy pozornej jest woltoamper, VA.

Układy trójfazowe

Do wytwarzania napięć w obwodach trójfazowych służą prądnice (generatory) trójfazowe lub układy elektroniczne. W uzwojeniach maszyn wirujących indukują się napięcia o jednakowych amplitudach, o tej samej częstotliwości i przesunięte względem siebie o 120°, czyli 1/3 okresu. Układ nazywa się symetrycznym, jeżeli prądnica (sieć) jest podłączona z odbiornikiem złożonym z trzech jednakowych oporności (impedancji – Z). Odbiorniki mogą być połączone w trójkąt lub gwiazdę.

Przy połączeniu w gwiazdę punkt wspólny uzwojeń nosi nazwę punktu neutralnego lub zerowego. Odbiornik połączony w gwiazdę może być połączony z siecią trzema lub czterema przewodami. Są nimi 3 przewody fazowe L1, L2, L3 i przewód neutralny N. W przypadku obciążenia symetrycznego (impedancje odbiorników są sobie równe), moduły prądów przewodowych równają się modułom prądów fazowych i są sobie równe, wektory prądów są przesunięte względem siebie o 120°. Moduł napięcia międzyfazowego U jest o $\sqrt{3}$ większy od napięcia fazowego Uf .

Układ połączeń odbiorników w gwiazdę



Można zapisać, że dla gwiazdy:

$$I = If\ ,\ U = \sqrt{3} * Uf$$

Moc czynna odbiorników symetrycznych połączonych w gwiazdę wyniesie:

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos\varphi$$

Moc bierna odbiorników symetrycznych połączonych w gwiazdę wyniesie:

$$Q = \sqrt{3} * U * I * \sin\varphi$$

Moc pozorna odbiorników symetrycznych połączonych w gwiazdę wyniesie:

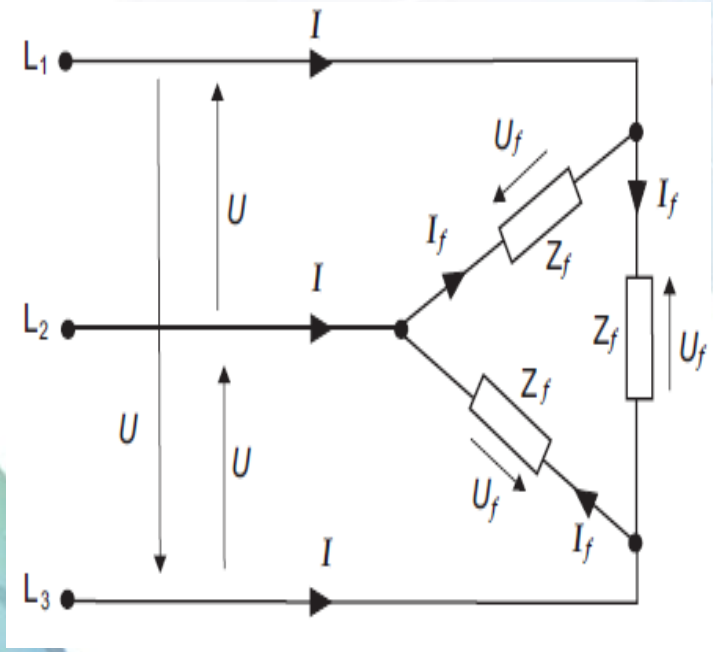
$$S = \sqrt{3} * U * I$$

Na podstawie powyższych zależności można zapisać:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2},\ tg\varphi = Q/P$$

Układ odbiorników połączonych w trójkąt

Przy połączeniu w trójkąt układ jest zasilany 3 przewodami.



Obowiązują zależności:

$$U = Uf\ ,\ I = \sqrt{3} * If$$

Na podstawie powyższych zapisów można stwierdzić, że:

Na odbiorniku wartość napięcia jest o √3 większa niż przy połączeniu w gwiazdę.

Moc czynna odbiorników symetrycznych połączonych w trójkąt wyniesie:

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos\varphi$$

Moc bierna odbiorników symetrycznych połączonych w trójkąt wyniesie:

$$Q = \sqrt{3} * U * I * \sin\varphi$$

Moc pozorna w VA odbiorników symetrycznych połączonych w trójkąt wyniesie:

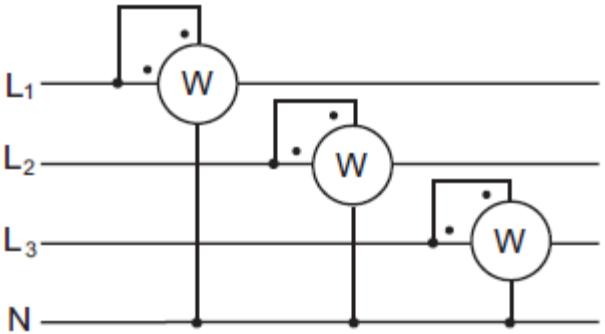
$$S = \sqrt{3} * U * I$$

Analizując powyższe wzory można zapisać:

$$P\Delta = 3 * P$$

Obciążenia niesymetryczne wymagają osobnej analizy układów trójfazowych.

Pomiar mocy w układach 3 fazowych



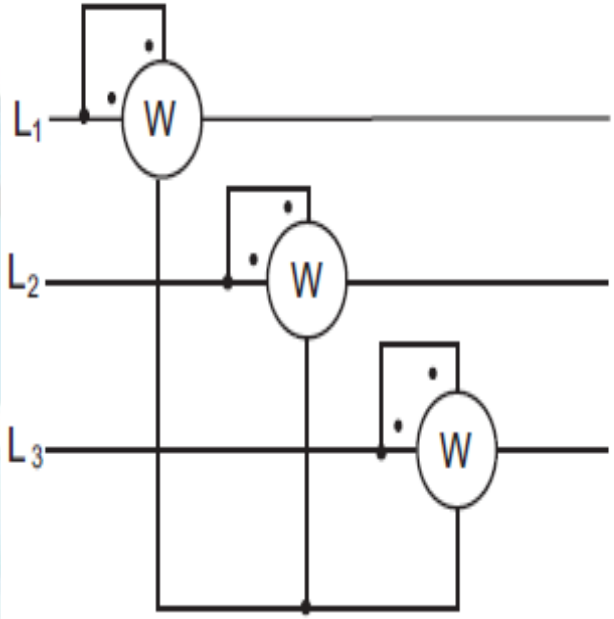
Pomiar mocy czynnej trzema watomierzami w sieci trójfazowej czteroprzewodowej

Układy połączeń watomierzy przedstawione na rysunkach, pozwala zmierzyć moc pobieraną przez odbiornik, która równa jest sumie wskazań watomierzy i wynosi:

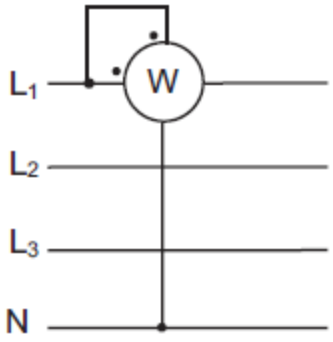
$$P = P_{w1} + P_{w2} + P_{w3}$$

Moc pobieraną przez odbiornik wyznacza się ze wzoru:

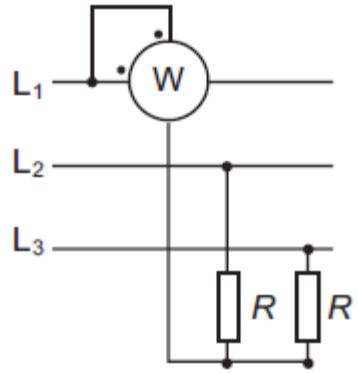
$$P = 3 * P_w$$



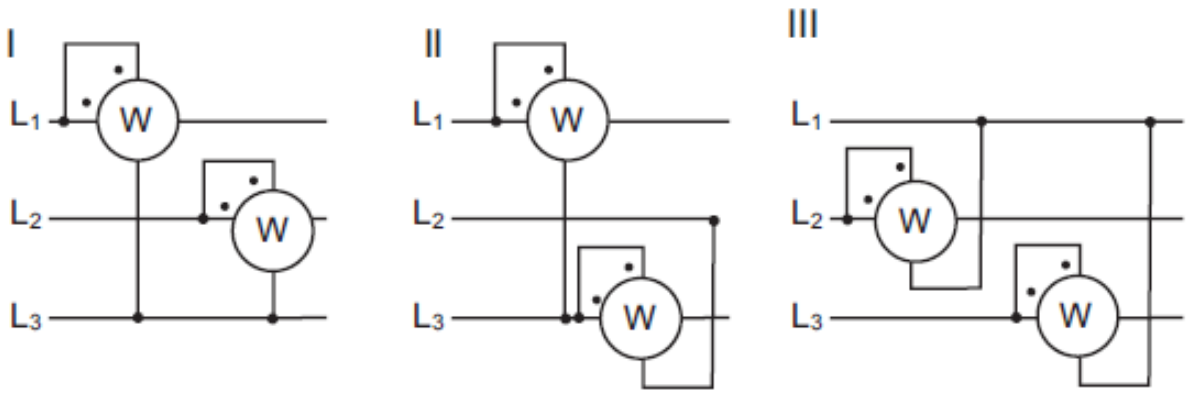
Pomiar mocy czynnej trzema watomierzami w sieci trójfazowej trójprzewodowej



Pomiar mocy czynnej odbiornika symetrycznego trójfazowego jednym watomierzem w sieci trójfazowej czteroprzewodowej



Pomiar mocy czynnej odbiornika symetrycznego trójfazowego jednym watomierzem w sieci trójfazowej trójprzewodowej



Układy do pomiaru mocy czynnej dwoma watomierzami w sieci trójprzewodowej

Moc czynna odbiornika równa jest sumie mocy wskazywanych przez watomierze.

$$P = P_{w1} + P_{w2}$$

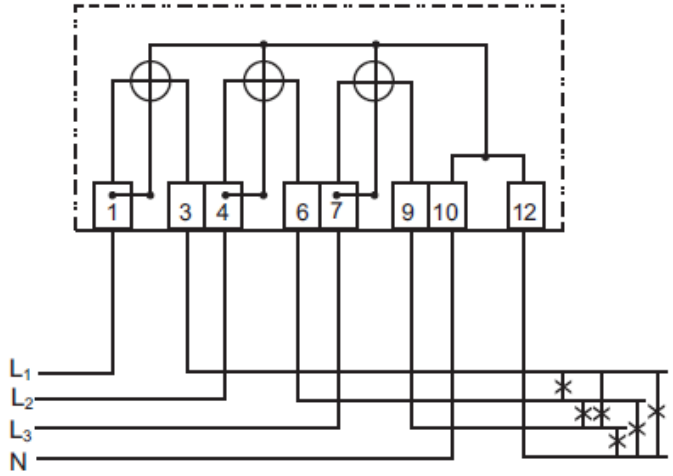
Pomiar energii w obwodach trójfazowych

Wielkość energii należy zapisać wzorem:

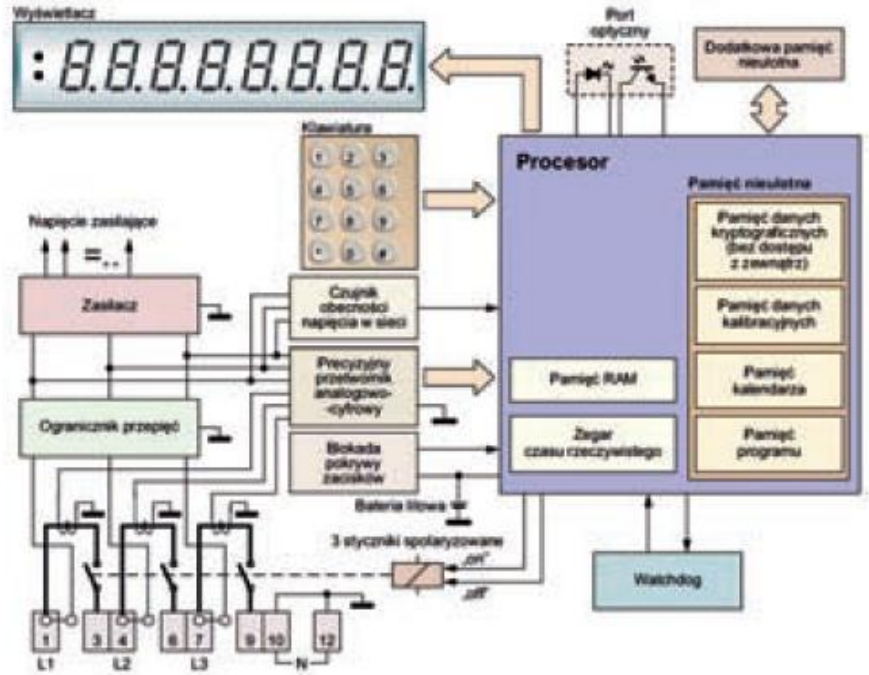
$$W = U * I * t$$

Jednostką energii jest kilowatogodzina, kWh.

W większości mieszkań i budynków komercyjnych do pomiaru zużycia energii elektrycznej wykorzystuje się **liczniki elektromechaniczne.**



Schemat połączeń licznika trójfazowego w sieci czteroprzewodowej



Schemat elektryczny licznika do pomiaru energii w sieci czteroprzewodowej

Dużą popularność zyskują nowoczesne **liczniki energii elektrycznej określane** mianem **inteligentnych.**
Poniżej przedstawiono schemat elektryczny takiego miernika. Dodatkowym impulsem do rozpowszechnienia omawianych **liczników jest dążenie do budowania** nowoczesnych, inteligentnych sieci energetycznych.

Przyrządy pomiarowe służące do oszacowania parametrów energetycznych

Woltomierz

Przyrząd pomiarowy za pomocą którego mierzy się napięcie elektryczne (jednostka napięcia wolt). Woltomierz laboratoryjny magnetoelektryczny jest włączany równolegle do obwodu elektrycznego. Idealny woltomierz posiada nieskończenie dużą rezystancję wewnętrzną. W związku z tym, oczekuje się pomijalnie małego poboru prądu przez cewkę pomiarową.

Woltomierz analogowy

Multimetr cyfrowy z funkcją woltomierza

Amperomierz

Przyrząd pomiarowy służący do pomiaru natężenia prądu elektrycznego. W zależności od zakresu amperomierza używane są też nazwy kiloamperomierz, miliamperomierz, mikroamperomierz. Pomiaru natężenia prądu dokonuje się poprzez oddziaływanie przewodnika z prądem i pola magnetycznego budując następujące rodzaje amperomierzy:

– magnetoelektryczny;
– elektromagnetyczny;
– elektrodynamiczny;
– indukcyjny.

Multimetr cyfrowy
z funkcją amperomierza

Amperomierz analogowy

Omomierz

Miernik elektryczny służący do pomiaru oporności (oporność elektryczna) przewodnika. Zbudowany jest zazwyczaj z amperomierza połączonego szeregowo z badanym oporem i mierzącego prąd płynący z wewnętrznego źródła zasilania omomierza (np. baterii) przez ten opór. Do pomiarów małych oporności stosuje się omomierze zbudowane w innym układzie: zawierają one woltomierz, badany opór włączony jest do niego równolegle. Pomiarów bardzo dużych oporności dokonuje się za pomocą megaomomierzy, wyposażonych w ręczne generatory wysokiego napięcia.

Multimetr cyfrowy
z funkcją omomierza

Omomierz analogowy

Watomierz

Jest przyrządem przeznaczonym do pomiaru mocy czynnej. Watomierze budowane są jako mierniki:

– elektrodynamiczne;

– ferrodynamiczne;

– indukcyjne.

Watomierz elektrodynamiczny, to najczęściej spotykany typ miernika. Przeznaczony jest do pomiaru mocy w obwodach prądu stałego i przemiennego. Ma on dwie cewki: nieruchomą cewkę prądową, o małej rezystancji oraz ruchomą cewkę napięciową, o dużej rezystancji. Cewkę prądową włącza się do układu poprzez zaciski prądowe, szeregowo z obciążeniem. Cewkę napięciową – poprzez zaciski napięciowe, równolegle z obciążeniem.

Watomierz cyfrowy

Watomierz analogowy

Manometr

Manometr sprężynowy rurkowy (najczęściej stosowany), zwany też ciśnieniomierzem ze sprężyną rurkową składa się z wygiętej w łuk rurki, zwanej od nazwiska konstruktora rurką Bourdona. Jeden koniec rurki jest zamocowany do obudowy i przez niego doprowadza się do rurki ciśnienie, drugi zamknięty koniec połączony jest z układem wskazującym ciśnienie wykonanym zazwyczaj, jako układ przekładni.

Rurka pełni jednocześnie rolę sprężyny powrotnej. W wygiętej rurce ciśnienie wywiera większy nacisk na powierzchnię zewnętrzną łuku rurki niż na powierzchnię wewnętrzną łuku, co powoduje, że rurka prostuje się nieco pod wpływem wzrostu ciśnienia. Zmiana wygięcia powoduje zmianę położenia, zamkniętego końca połączonego ze wskazówką. Manometry z rurką Bourdona są obecnie najczęściej stosowanymi manometrami. Przyrząd jest prosty i wyjątkowo dokładny aparat mierzący ciśnienie statyczne oraz różnice ciśnień. Na podstawie pomiaru i znajomości współczynnika **K dla rurki** Pitota można wyliczyć prędkość ruchu gazu.

Manometr sprężynowy

Analizator spalin

Urządzenie służące do pomiaru ilości i jakości produktów spalania. Wyposażony jest najczęściej w czujnik elektrochemiczny.

Urządzenie pozwala na ocenę sprawności spalania oraz emisji zanieczyszczeń. Najczęściej badana jest zawartość O_2, CO, NO, NO_2, SO_2, HC. Analizatory spalin wykorzystywane są w motoryzacji i ogrzewnictwie. Pomiar CO, CO_2, HC odbywa się z wykorzystaniem metody NDIR-Non-Dispersive Infrared, pomiar O2 następuje za pomocą czujnika elektrochemicznego. Elektrochemiczny pomiar NO_x jest opcja dodatkową. Pozwalają ocenić, czy badane urządzenie spełnia normy prawne dotyczące emisji zanieczyszczeń. Dodatkowo pozwalają określić współczynnik nadmiaru powietrza. Wartości takie jak tlenek, czy dwutlenek węgla poddawane są w procentach objętości, natomiast węglowodory i tlenki azotu w częściach na milion (ppm).

Analizator spalin

Detektor wycieków gazów

Jest on zasilany z 5-ciu baterii alkalicznych R14 umożliwia do 30 godzin ciągłej pracy, LEAKATOR 10 jest dostarczany z sondą o długości 51 cm umożliwiającą detekcję w trudno dostępnych miejscach, a czujnik o solidnej konstrukcji zapewnia pracę przez 5 lat. LEAKATOR 10 umożliwia szybką identyfikację zarówno małych jak i dużych wycieków, podczas sprawdzania dużych powierzchni w stosunkowo krótkim czasie.

Detektor do analizy gazów

Główne zalety:

– sonda długości 51 cm ułatwiająca dostęp do trudno dostępnych miejsc;

– wskaźnik dźwiękowy: Głośne tykanie zależne od stopnia stężenia gazu;

– twarda odporna na uderzenia obudowa;

– baterie umożliwiające 30 godzin pracy;

– pasek ułatwiający przenoszenie;

– regulacja czułości pokrętłem pomocna przy identyfikacji wycieku;

– certyfikat UL Listed Iskrobezpieczny;

– wskaźnik optyczny – 10 ultra jasnych czerwonych diod LED;

– oznaczenie CE;

– podłączany czujnik o mocnej konstrukcji o czasie pracy wynoszącym 5 lat.

Pirometr optyczny

Pirometr jest to przyrząd pomiarowy służący do bezdotykowego pomiaru temperatury. Działa w oparciu o analizę promieniowania cieplnego emitowanego przez badane ciała. Proste pirometry mierzą ilość energii emitowanej poprzez pomiar temperatury elementu, na który pada promieniowanie. Do pomiaru temperatur powyżej 600°C używane są pirometry optyczne, w których jasność świecenia badanego obiektu jest porównywana z jasnością obiektu wzorcowego (np. żarnika).

W celu pomiaru temperatury w zasobniku i kolektorze, montuje się często czujnik temperatury, np. Pt-1000. Są one zbudowane na bazie związków platyny i żelaza (zgodnie z normą DIN EN 60751). Czujniki te mają liniową charakterystykę pracy (rezystancję funkcji temperatury) i są przeznaczone do pracy w zakresie do 300°C.

Należy je umieścić w specjalnej rurce, która jest wkręcana do zasobnika lub kolektora, na stałe. Jeśli nie ma kieszeni, czujniki te mogą być również montowane, przez mocowanie dociskowe do rury. W instalacjach solarnych mogą być również montowane czujniki zbudowane na bazie krzemu, jako złącza PN o nazwie: PTC (dodatni współczynnik temperaturowy), lub NTC (ujemny współczynnik temperaturowy). Wszystkie wyżej wymienione czujniki temperatury charakteryzują się wysoką klasą dokładności.

Licznik ciepła (ciepłomierz)

Jest to przyrząd pomiarowy przeznaczony do pomiaru ilości przepływającej energii cieplnej. System pomiarowy licznika składa sie następujących modułów:

– licznik wolumetryczny (objętościowy) lub ultradźwiękowy pomiaru objętości przepływającego czynnika grzewczego;

– czujniki pomiaru temperatury zasilania i powrotu czynnika grzewczego;

– cyfrowy układ przeliczający mierzone wartości na ilość przepływającego ciepła.

Ciepło nie jest mierzone w sposób bezpośredni, ale obliczone przez układ zliczający (całkujący), jako suma iloczynów chwilowych pomiarów różnicy temperatur zasilania i powrotu czynnika grzewczego oraz przepływu masowego tego czynnika

Miernik ciepła

Licznik energii elektrycznej

Całkujący przyrząd pomiarowy przeznaczony do pomiaru ilości przepływającej energii elektrycznej. Jego wskazanie jest podstawą do rozliczania się między dostawcą a odbiorcą energii. Jednostką miary energii elektrycznej czynnej w układzie SI jest dżul równy 1wat* 1sekunda (watosekunda), natomiast powszechnie używaną jednostką miary tej energii jest kilowatogodzina – kWh albo megawatogodzina – MWh. W układach zasilania większej mocy dostawca i odbiorca rozliczają się również w zakresie energii biernej. Jednostką miary tej energii jest kilowar.

Analogowy licznik energii elektrycznej

Licznik elektroniczny (półprzewodnikowy)

W liczniku elektronicznym wykorzystywane są specjalizowane układy scalone, które pod wpływem przepływającego prądu i przyłożonego napięcia generują impulsy w ilości proporcjonalnej do pobieranej energii elektrycznej. Następnie liczba impulsów jest przeliczana na energię wskazywaną przez licznik.

Licznik elektroniczny

Kamera termowizyjna

Jest to optoelektroniczne urządzenie obrazowe analizujące tzw. temperaturowe promieniowanie podczerwieni. Występuje w wersjach obserwacyjnych oraz pomiarowych. Na Zachodzie urządzenia te występują głownie pod nazwami będącymi odpowiednikami nazw: kamera termiczna, termograficzna lub kamera podczerwieni, zwłaszcza gdy z kontekstu wynika, że jej zakres czułości widmowej obejmuje pasma 3–5 lub 8–13 mikrometrów. Pasma te pokrywają się z obszarami wysokiej przepuszczalności atmosfery dla promieniowania podczerwonego. O atrakcyjności zobrazowań bądź badań metodą termowizyjną decyduje wszechobecność promieniowania temperaturowego, zbyteczność stosowania jakichkolwiek zewnętrznych źródeł oświetlenia, znacznie mniejszy wpływ mgieł, dymów oraz klasycznych dla promieniowania widzialnego oddziaływań maskujących. Zdolność aparatury do tworzenia, w czasie rzeczywistym, zobrazowań mikrozmian w rozkładach temperatury stwarza unikalne możliwości obserwacji, wykrywania oraz diagnozowania stanu badanych obiektów

Miernik przepływu powietrza (anemometr)

Jest to przyrząd służący do mierzenia prędkości ruchu gazów i cieczy, a zwłaszcza wiatru. Niektóre anemometry wskazują również kierunek ruchu. Anemometr, który rejestruje graficznie prędkość lub kierunek wiatru, nazywa się anemografem. Obecnie anemografy są coraz częściej wypierane przez komputerowy zapis danych.

Istnieją rożne rodzaje anemometrów:

– obrotowe (rotacyjne) – posiadają element ruchomy wprawiany w ruch przez wiatr;

– wiatrakowe;

– czaszowe – (przedstawiony obok na fotografii) na pionowej osi obrotu umieszczony jest krzyżak na ramionach którego umieszczone są półkuliste czasze. Szybkość obrotu układu jest proporcjonalna do prędkości wiatru;

– wychyłowe – wiejący wiatr odchyla od pionu prostokątną płytkę;

– ciśnieniowe – (rurka Pitota) wykorzystują zmianę ciśnienia w poruszającym się płynie;

– cieplne (elektryczne) – wykorzystują zmianę odbioru ciepła z płytki podgrzewanej elektrycznie, mierzoną wielkością może być opór elektryczny elementu grzejnego;

– dopplerowskie (ultrasonograficzne) – mierzą częstotliwość dźwięku (ultradźwięku) rozchodzącego się w powietrzu, która zmienia się, gdy ośrodek porusza się względem obserwatora (efekt Dopplera) i w ten sposób wyznaczają prędkość ośrodka.

Zakres obliczeń:

– prędkości przepływu powietrza;
– przepływu objętościowego;
– temperatury;
– wilgotności względnej;
– ciśnienia różnicowego (statycznego, całkowitego, dynamicznego);
– ciśnienia barometrycznego (atmosferycznego) ;
– koncentracji CO ;
– koncentracji CO2;
– koncentracji VOC (lotnych związków organicznych);
– temperaturę mokrego termometru;
– temperaturę punktu rosy;
– wartość ciągu powietrza;
– strumień ciepła;
– turbulencję przepływu;
– posiada wbudowane programy testów pomiarowych.

Anemometr

Luksomierz

Jedną z podstawowych i najczęściej mierzonych wartości oświetleniowych jest natężenie oświetlenia.

W uproszczeniu określa ono ilość światła, które wysłane ze źródła i odbite od rożnych „przeszkód” (ścian, mebli, elementów konstrukcyjnych oprawy, itd.) dociera w dane miejsce. Jest to też wartość, którą podają rożne normy, jako zalecaną dla poszczególnych pomieszczeń i rodzajów wykonywanej czynności.

Miernik natężenia oświetlenia

Pomiar ciągłości przewodów

Pomiar rezystancji przewodów najczęściej wykonuje się miernikiem cyfrowym uniwersalnym. Wskazanie wartości bliskiej zero przez miernik, świadczy o ciągłości przewodu na całej jego długości.

Pomiar ciągłości przewodów ochronnych polega na przeprowadzeniu pomiaru rezystancji między każdą częścią przewodzącą dostępną a najbliższym punktem głównego połączenia wyrównawczego.

Zmierzona rezystancja *R powinna spełniać* następujący warunek:

$$R \leq U_c / I_a$$

gdzie:

U_c – napięcie dotykowe spodziewane;

I_a – prąd powodujący samoczynne zadziałanie urządzenia zabezpieczającego w wymaganym czasie.

Czasy wyłączenia	Napięcie dotykowe spodziewane U_c
s	V
0,1	350
0,2	210
0,4	105
0,8	68
5	50

Pomiar rezystancji izolacji instalacji elektrycznej

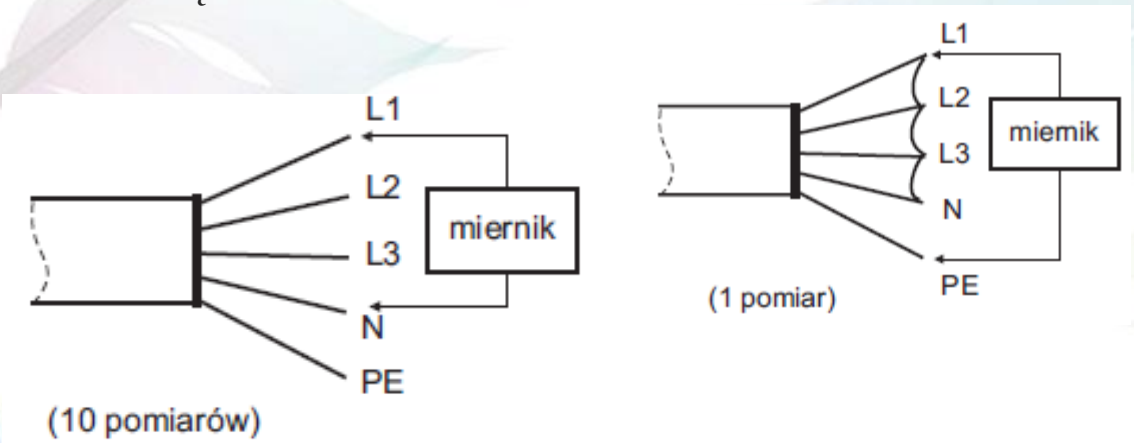
Podstawowym badaniem ochrony przed dotykiem bezpośrednim (ochrony podstawowej) jest pomiar rezystancji izolacji instalacji elektrycznej. Pomiar należy wykonywać, po wyłączeniu zasilania i odłączeniu odbiorników. Do tego celu można wykorzystać jeden z mierników elektronicznych dostępnych na rynku.

Rezystancję izolacji należy mierzyć:

– między kolejnymi parami przewodów czynnych;

– między każdym przewodem czynnym a ziemią.

Przewody ochronne PE i ochronno-neutralne PEN mogą służyć jako połączenie z ziemią.



Sposób włączenia miernika do pomiaru rezystancji izolacji przewodów

Poniżej na rysunku przedstawiono wielofunkcyjny tester rezystancji uziemienia i systemów ochronnych oświetlenia, pomiar ciągłości przewodu ochronnego PE, pomiar rezystancji izolacji w niskonapięciowych instalacjach elektrycznych zgodnie z normą IEC/EN 61557. Pomiary uziemienia i systemów odgromowych wykonywany może być metodą standardową 4-przewodową, metodą 4 przewodową z cęgami i 2 cęgami prądowymi bez rozpinania połączeń. Pomiar rezystancji izolacji napięciami pomiarowymi 50 V do 1000 V z krokiem 10 V. Zakres pomiarowy 30 GΩ.

Testery rezystancji uziemienia i izolacji, ciągłości przewodów ochronnych

Napięcie nominalne obwodu	Napięcie probiercze prądu stałego	Rezystancja izolacji
V	V	MΩ
do 50 V układy SELV i PELV	250	≥ 0,25
powyżej 50 V do 500 V	500	≥ 0,5
powyżej 500 V	1000	≥ 1,0

Pomiar rezystancji izolacji podłóg i ścian

W miejscach, gdzie jako środek ochrony przeciwporażeniowej zastosowano izolowanie stanowiska, należy okresowo przeprowadzać pomiary rezystancji izolacji ścian i podłóg.

Rezystancja izolacji podłóg i ścian nie powinna być mniejsza niż:

– 50 kΩ, jeżeli napięcie nominalne instalacji nie przekracza 500 V;

– 100 kΩ, jeżeli napięcie nominalne instalacji przekracza 500 V.

Rezystancję należy mierzyć między elektrodą probierczą a przewodem ochronnym instalacji.

W celu uzyskania poprawnego wyniku pomiaru, należy wykonać przynajmniej trzy pomiary w tym samym pomieszczeniu, w tym jeden w odległości ok. 1 m od części przewodzących obcych, występujących w tym pomieszczeniu.

Do pomiarów należy stosować omomierz induktorowy lub próbnik izolacji ustawiając napięcie o wartości 500 V przy napięciu instalacji do 500 V lub 1000 V przy napięciu instalacji przekraczającej 500 V.

Pomiar rezystancji uziomu

Metody klasyczne pomiarów rezystancji uziemień omówiono w wielu innych opracowaniach. W podręczniku przedstawiono najnowsze rozwiązanie w tym zakresie. Polega ono na pomiarze rezystancji uziomu bez jego odłączania i bez konieczności korzystania z sond pomiarowych. Pomiar bez odłączania uziomu (ART.) polega na pomiarze prądu, o częstotliwości 128Hz generowanego przez DET4TC2, płynącego przez badaną elektrodę uziomu. Pozwala użytkownikowi na badanie elektrody uziomu bez odłączania jej od systemu, unikając komplikacji związanych z wyłączeniem systemu lub z umieszczaniem tymczasowych zastępczych uziomów. Oznacza to, że system uziemienia pozostaje zupełnie nienaruszony podczas wykonywania pomiaru. Pomiar może zostać wykonany bez odłączania uziomu oraz bez sond pomocniczych. Zastosowanie dwóch sztuk opcjonalnych cęgów ICLAMP oraz VCLAMP pozwala na wykonanie pomiaru bez wbijania sond pomocniczych oraz bez odłączania badanego uziomu

Sprawdzenie skuteczności ochrony przed dotykiem pośrednim przez samoczynne wyłączenie zasilania

Skuteczność ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej sprawdza się za pomocą pomiarów i obliczeń i uznaje się ją za skuteczną, jeżeli zostanie spełniony jeden z warunków:

– przewidywane wartości napięć wrażeniowych dotykowych nie przekraczają największych dopuszczalnych napięć;

– przewidywane wartości napięć dotykowych między przedmiotami metalowymi a ziemią nie przekroczą największych dopuszczalnych wartości napięć rażeniowych;

– przewidywana wartość napięcia uziomowego nie przekroczy trzykrotnej wartości dopuszczalnego napięcia rażeniowego w sieciach TN.

Sprawdzenie skuteczności ochrony przed dotykiem pośrednim przez samoczynne wyłączenie zasilania w układzie sieci TN polega na sprawdzeniu czy spełniony jest warunek:

$$\mathbf{Z_s = I_a \leq U_o}$$

gdzie:

Z_s – *impedancja pętli zwarciowej, obejmującej źródło zasilania, przewód fazowy* do miejsca zwarcia i przewód ochronny od miejsca zwarcia do źródła zasilania,

I_a – *prąd powodujący samoczynne zadziałanie urządzenia zabezpieczającego* w wymaganym czasie,

U_o – *napięcie fazowe.*

W celu wykonania zadania przeprowadza się pomiar impedancji pętli zwarciowej i określa prąd *Ia na podstawie charakterystyk czasowo-prądowych urządzeń zabezpieczających* dla wymaganych czasów wyłączenia (na przykład 0,2; 0,4; 5 s przy *Uo = 230 V) lub znamionowego prądu różnicowego w przypadku zastosowania* urządzeń ochronnych różnicowoprądowych.

Pomiar impedancji pętli zwarciowej należy wykonać przy tej samej częstotliwości jak częstotliwość znamionowa obwodu. Jako przykład miernika uniwersalnego do pomiaru impedancji pętli zwarciowej i innych parametrów sieci przedstawiono miernik MZC-304. MZC-304 pozwala na dokładne pomiary impedancji pętli zwarciowej również w obwodach zabezpieczonych wyłącznikami różnicowoprądowymi bez konieczności bocznikowania tychże wyłączników (w obu przypadkach z rozdzielczością 0,01 Ω). Dodatkowo wykonać można pomiar napięcia i częstotliwości sieci oraz – niezwykle istotny dodatek – ciągłość połączeń wyrównawczych i ochronnych zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 61557. Umożliwia również przeprowadzenie pomiaru impedancji pętli zwarcia w sieciach o dowolnym napięciu z zakresu 180..270 V (pomiary w obwodzie L-PE i L-N) lub 180..460 V (pomiary w obwodzie L – L), o częstotliwości z zakresu 45..65Hz, przy czym można wybrać napięcie znamionowe spośród: 220/380 V, 230 V/400 V lub 240/415 V – na tej podstawie miernik automatycznie oblicza spodziewany prąd zwarcia, rozróżniając napięcie fazowe lub międzyfazowe.

Pomiar impedancji pętli zwarcia w gniazdku sieciowym

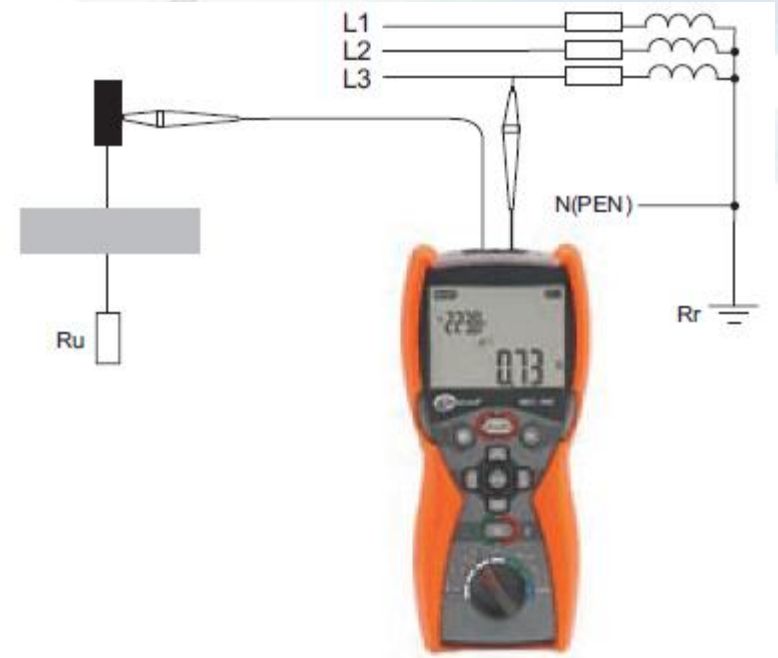
Na wyświetlaczu podawany jest zestaw wyników – zmierzona impedancja pętli zwarciowej, spodziewany prąd zwarciowy, napięcie, przy jakim dokonany był pomiar oraz dodatkowo wartości składowych impedancji pętli, czyli rezystancji i reaktancji.

Podczas wykonywania pomiarów w gniazdkach, zamiast przewodów pomiarowych (zakończonych sondami lub krokodylkami), można zastosować, znajdujący się na wyposażeniu przyrządu, adapter WS-05 zakończony kątową wtyczką sieciową.

Po jego podłączeniu nie ma konieczności wyboru rodzaju stosowanego podłączenia – obecność adaptera jest wykrywana, zaś miernik kalibruje się automatycznie. Kształt adaptera pozwala wykonać w łatwy sposób pomiar w miejscach trudno dostępnych.

Celem ułatwienia pomiarów w gniazdach trójfazowych (16, 32, 63-amperowych) można doposażyć się w odpowiednie adaptery, znacznie upraszczające prowadzenie wszelkich pomiarów w takich gniazdach.

Jak każdy miernik służący do pomiaru impedancji pętli zwarciowej, MZC-304 może być wykorzystany do przybliżonego pomiaru rezystancji uziemień. W tym celu należy zastosować pomocnicze źródło zasilania, umożliwiające przepływ prądu pomiarowego, czyli przewód fazowy sieci. Mierzone uziemienie nie może być połączone w trakcie pomiaru z przewodem PE (PEN) sieci zasilającej. Wynik pomiaru jest sumą rezystancji mierzonego uziomu, uziemienia roboczego, źródła i przewodu fazowego, wartość wskazywana jest więc większa, niż rezystancja, którą chcemy mierzyć. Jeżeli uzyskany w ten sposób wynik nie przekracza wartości dopuszczalnej dla badanego uziemienia, można uznać, że uziemienie wykonane jest prawidłowo.



Pomiar rezystancji uziemienia z pomocniczym źródłem zasilania

Podczas pomiarów mogą być stosowane dłuższe przewody (5, 10, 20 m) – po wybraniu rodzaju zastosowanych przewodów ich rezystancja jest kompensowana przez miernik. MZC-304 umożliwia wykonanie pomiaru ciągłości połączeń ochronnych i wyrównawczych zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 61557-4 – prądem 200 mA w dwóch kierunkach; przy napięciu na otwartych zaciskach w granicach 4...7 V. Do pomiaru ciągłości można używać przewodów dowolnej długości, do których miernik można skalibrować przed pomiarami – po tej operacji rezystancja przewodów pomiarowych jest automatycznie kompensowana podczas pomiarów.

Przyrząd pozwala wykonać również niskonapięciowy pomiar rezystancji (prądem 10 mA) dodatkowo sygnalizując akustycznie rezystancję mniejszą niż 30 Ω.

Obie funkcje są zabezpieczone przed ewentualnymi błędami użytkownika – próba uruchomienia pomiaru pod napięciem powoduje załączenie sygnału alarmowego i wyświetlenie odpowiedniego ostrzeżenia.

Za pomocą przyrządu można sprawdzić, czy napięcie pomiędzy elektrodą dotykową umieszczoną w mierniku, a przewodem ochronnym PE przekracza 50 V. Aby wykonać pomiar, należy po podłączeniu przyrządu do punktu pomiarowego dotknąć przycisku „Start” wyzwalającego pomiary (przycisk jest metalowy, stanowi elektrodę dotykową). W przypadku wykrycia na przewodzie ochronnym napięcia powyżej 50 V, na wyświetlaczu pojawia się stosowne ostrzeżenie oraz generowany jest ciągły sygnał dźwiękowy.

Wykonanie przycisku wyzwalającego pomiar jako elektrody dotykowej powoduje, że każdy pomiar poprzedzony jest testem bezpieczeństwa.

Po podłączeniu przyrządu do sieci, zmierzona wartość napięcia jest wyświetlana przed każdym pomiarem. Dodatkowo, po wybraniu funkcji „U,f” przyrząd mierzy i wyświetla wartości napięcia (z zakresu 0,0...500 V) oraz częstotliwości sieci.

Sprawdzanie działania urządzeń ochronnych różnicowoprądowych

Sprawdzenie poprawności działania wyłącznika można dokonać wieloma typami mierników elektronicznych dostępnych obecnie na rynku. W podręczniku omówiono pracę miernika ST – 8854. Główną funkcją urządzenia jest testowanie oraz pomiar wartości przepływu prądu wyrażonego w mA wyłącznika różnicowoprądowego w czasie wyrażonym w ms. Umożliwia to testowanie wyłączników 10 mA/30 mA/100 mA/300 mA/ 500 mA/1000 mA niezależnie od jego typu (normalny czy opóźnione S). To wszechstronne urządzenie może również zostać użyte do sprawdzenia prawidłowości sieci oraz połączenia przewodów uziemiających.

Miernik analizy pracy zabezpieczeń różnicowoprądowych

Protokół odbiorczy

Protokół z pomiarów i prób powinien zawierać:

– nazwę, miejsce zainstalowania oraz dane znamionowe badanych instalacji, obwodów, urządzeń i aparatów,

– rodzaj pomiarów i prób;

– nazwisko osoby wykonującej pomiary i próby;

– datę wykonania pomiarów i prób;

– spis użytych przyrządów i ich numery;

– szkice rozmieszczenia badanych instalacji, obwodów, urządzeń i aparatów;

– tabelaryczne zestawienie wyników pomiarów i prób oraz ich ocenę;

– dane o warunkach przeprowadzenia pomiarów i prób;

– wnioski i zalecenia wynikające z pomiarów i prób.

Więcej informacji na temat budowy, zasady działania instalacji fotowoltaicznych innych urządzeń i instalacji zasilanych z OŹE autor artykułu razem z współautorką Izabelą Góralczyk zamieścili w podręcznikach „Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej”, „Racjonalna gospodarka energią”, „Urządzenia, instalacje fotowoltaiczne i elektryczne”.

Dziękuję za uwagę