

PODSTAWY ELEKTROTECHNIKI

część 3

POMIARY ELEKTRYCZNE

1. Metrologia
2. Narzędzia pomiarowe
3. Dokładność pomiarów
4. Ogólne zasady kontroli
5. Pomiary rezystancji przewodów
6. Pomiary rezystancji izolacji
7. Pomiary rezystancji uziemień
8. Sprawdzanie środków ochrony

Metrologia jest działem nauki zajmującym się teoretycznymi podstawami pomiarów i ilościową oceną zjawisk fizycznych. W wymiarze technicznym metrologia opisuje metody i urządzenia pomiarowe w zakresie ich właściwego przygotowania, wykonywania pomiarów i zasadami interpretacji uzyskanych wyników.

Całokształt spraw związanych z metrologią i wymaganiami dotyczącymi przyrządów pomiarowych reguluje **Ustawa z dnia 11 maja 2001 Prawo o Miarach (Dz.U. Nr 63 z 2001 r., poz.636 z późn. zm.)**, która stanowi, że przyrządy pomiarowe podlegają kontroli metrologicznej GUM, w formie zatwierdzenia typu, legalizacji pierwotnej i legalizacji ponownej (dawne uwierzytelnianie).

Działalność państwowej służby metrologii prawnej lub innych organów do tego upoważnionych, polega na stwierdzeniu i zaświadczeniu, że narzędzie pomiarowe całkowicie spełnia wymagania przepisów legalizacyjnych; obejmuje sprawdzenie i o cechowanie narzędzia pomiarowego lub wydanie świadectwa legalizacyjnego. Legalizacje narzędzi pomiarowych w Polsce przeprowadza **Główny Urząd Miar (GUM)** i podległe mu jednostki organizacyjne, a także instytucje upoważnione przez GUM.

Metrologia naukowa obejmuje prace badawcze i rozwojowe, które dotyczą:

- Tworzenia i utrzymania wzorców jednostek miar
- Przekazywania jednostek miar
- Porównań wzorców oraz powiązań wzorców i wyników wskazań przyrządów
- Tworzenia nowych metod pomiarowych, przyrządów i systemów pomiarowych
- Analizy metrologicznej
- Analizy błędów pomiarów

Metrologia przemysłowa zajmuje się wszystkimi usługami metrologicznymi, które są związane z procesami produkcji w przemyśle. Jej zadaniem jest zapewnienie odpowiedniego funkcjonowania przyrządów pomiarowych używanych w przemyśle.

Metrologia laboratoryjna zajmuje się pomiarami w laboratoriach naukowo-badawczych i wzorcujących, w których wykonuje się badania naukowe i bada się wyroby przemysłowe oraz wzorcuje się przyrządy pomiarowe

Metrologia prawna jest działem metrologii odnoszącym się do działań, które wynikają z wymagań prawnych i dotyczą pomiarów, jednostek miar, przyrządów i metod pomiarowych

Miernictwo elektryczne jest działem metrologii obejmującej zarówno pomiary wielkości elektrycznych (bezpośrednio: napięcie, prąd, rezystancję), jak i wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi (np. temperaturę, liczbę obrotów, i innych za pośrednictwem odpowiednich przetworników).

Współczesne miernictwo elektroniczne obejmuje:

- a) elektroniczne (analogowe i cyfrowe) przyrządy do pomiarów wielkości elektrycznych,
- b) metody pomiarowe związane z zastosowaniem elektronicznych przyrządów pomiarowych,
- c) pomiary parametrów elementów, podzespołów i przyrządów elektronicznych
- d) systemy pomiarowe.

Pomiarem badanych wielkości nazywa się doświadczalne porównanie określonej wielkości mierzalnej z wzorcem tej wielkości, przyjętym umownie za jednostkę miary, którego wynikiem jest przyporządkowanie wartości liczbowej mówiącej ile razy wielkość mierzona jest większa lub mniejsza od wzorca.

Według Międzynarodowego słownika podstawowych terminów w metrologii

***Pomiar jest to zbiór operacji mających na celu
wyznaczenie wartości badanych wielkości***

Pomiary wielkości elektrycznych: napięcia, natężenia prądu, mocy i pracy prądu itd. wykonuje się urządzeniami, w których wykorzystuje się zjawiska towarzyszące przepływowi prądu elektrycznego: cieplne, chemiczne i magnetyczne.

Z praktycznego punktu widzenia największe znaczenie dla pomiarów elektrycznych mają **zjawiska magnetyczne** i związane z tym siły działające w polu magnetycznym prądu.

Wykonanie pomiaru powinno być poprzedzone wyborem właściwej metody pomiarowej i układu pomiarowego, dobraniem odpowiednich przyrządów pomiarowych oraz zastosowaniem niezbędnych środków zapewniających bezpieczne wykonanie pomiarów.

Metoda pomiarowa określa sposób porównania wielkości mierzonej z wzorcem tej wielkości zastosowanych w pomiarach, celem wyznaczenia wyniku pomiaru. Stosuje się różne metody pomiarowe w zależności od: rodzaju wielkości mierzonej, wymaganej dokładności, sposobu opracowania wyników i warunków pomiaru (np. laboratoryjne, przemysłowe, terenowe) oraz różne zasady klasyfikacji metod pomiarowych.

Wyróżnia się następujące metody pomiarowe:

bezpośrednia – wynik otrzymujemy bezpośrednio z odczytu jego wskazań bez wykonywania obliczeń (np. pomiar rezystancji),

pośrednia – wartość wielkości mierzonej otrzymuje się pośrednio na podstawie bezpośrednich pomiarów innych wielkości związanych z nią zależnością (np. pomiar metodą techniczną),

różnicowa – to metoda porównawcza, przy której w układzie pomiarowym występuje wzorzec wielkości o wartości zbliżonej do wielkości mierzonej.

Wybór właściwej metody pomiarowej i układu pomiarowego polega na dobraniu odpowiednich przyrządów pomiarowych oraz zastosowaniu niezbędnych środków zapewniających bezpieczne wykonanie pomiarów.

Prawna kontrola metrologiczna urządzeń pomiarowych

Prawna kontrola metrologiczna to działanie zmierzające do wykazania, że przyrząd pomiarowy spełnia wymagania określone we właściwych przepisach.

Zgodnie z art. 8 pkt. 2 ustawy z dnia 11 maja 2001 r. – **Prawo o miarach** – *prawnej kontroli metrologicznej podlegają przyrządy pomiarowe, które mogą być stosowane:*

- 1) w ochronie zdrowia, życia i środowiska,*
- 2) w ochronie bezpieczeństwa i porządku publicznego,*
- 3) w ochronie praw konsumenta,*
- 4) przy pobieraniu opłat, podatków i innych należności budżetowych oraz ustalaniu opustów, kar umownych, wynagrodzeń i odszkodowań, a także przy pobieraniu i ustalaniu podobnych należności i świadczeń,*
- 5) przy dokonywaniu kontroli celnej,*
- 6) w obrocie.(...)*

Międzynarodowy Układ Jednostek Miar

Międzynarodowy Układ Jednostek Miar w skrócie „**Układ SI**” (Systeme International), został przyjęty na XI Generalnej Konferencji Miar w 1960 roku (w Polsce od 1966 r.).

Jest to układ jednostek miar oparty na **siedmiu** jednostkach podstawowych.

Metr (m) – jest długością równą 1 650 763,73 długości fali promieniowania w próżni odpowiadającego przejściu między poziomami $2p_{10}$ a $5d_5$ atomu kryptonu 86;

Kilogram (kg) – jest masą międzynarodowego wzorca tej jednostki przechowywanego w Międzynarodowym Biurze Miar w Sevres pod Paryżem;

Sekunda (s) – jest czasem trwania 9 192 631 770 okresów promieniowania odpowiadającego przejściu między dwoma nadsubtelnymi poziomami stanu podstawowego atomu cezu 133;

Amper (A) – jest natężeniem prądu elektrycznego nie zmieniającego się, który płynąc w dwóch równoległych przewodach prostoliniowych nieskończenie długich o przekroju okrągłym, znikomo małym, umieszczonych w próżni – wywoływałby między tymi przewodami siłę równą $2 \cdot 10^{-7}$ N na każdy metr długości przewodu;

Kelwin (K) – jest 1/273,16 częścią temperatury termodynamicznej punktu potrójnego wody. (Temperatura 0 K jest równa temperaturze $-273,15$ °C);

Kandela (cd) – jest światłością, którą ma w kierunku prostopadłym pole $1/600\ 000$ m² powierzchni ciała doskonale czarnego, promieniującego w temperaturze krzepnięcia platyny pod ciśnieniem 101325 N/m² (czyli dawnej 1 atmosfery fizycznej);

Mol – jest ilością substancji układu zawierającego liczbę cząsteczek lub cząstek równą liczbie atomów zawartych w masie 0,012 kg (dokładnie) czystego nuklidu węgla. (od roku 1971).

Jednostki pochodne

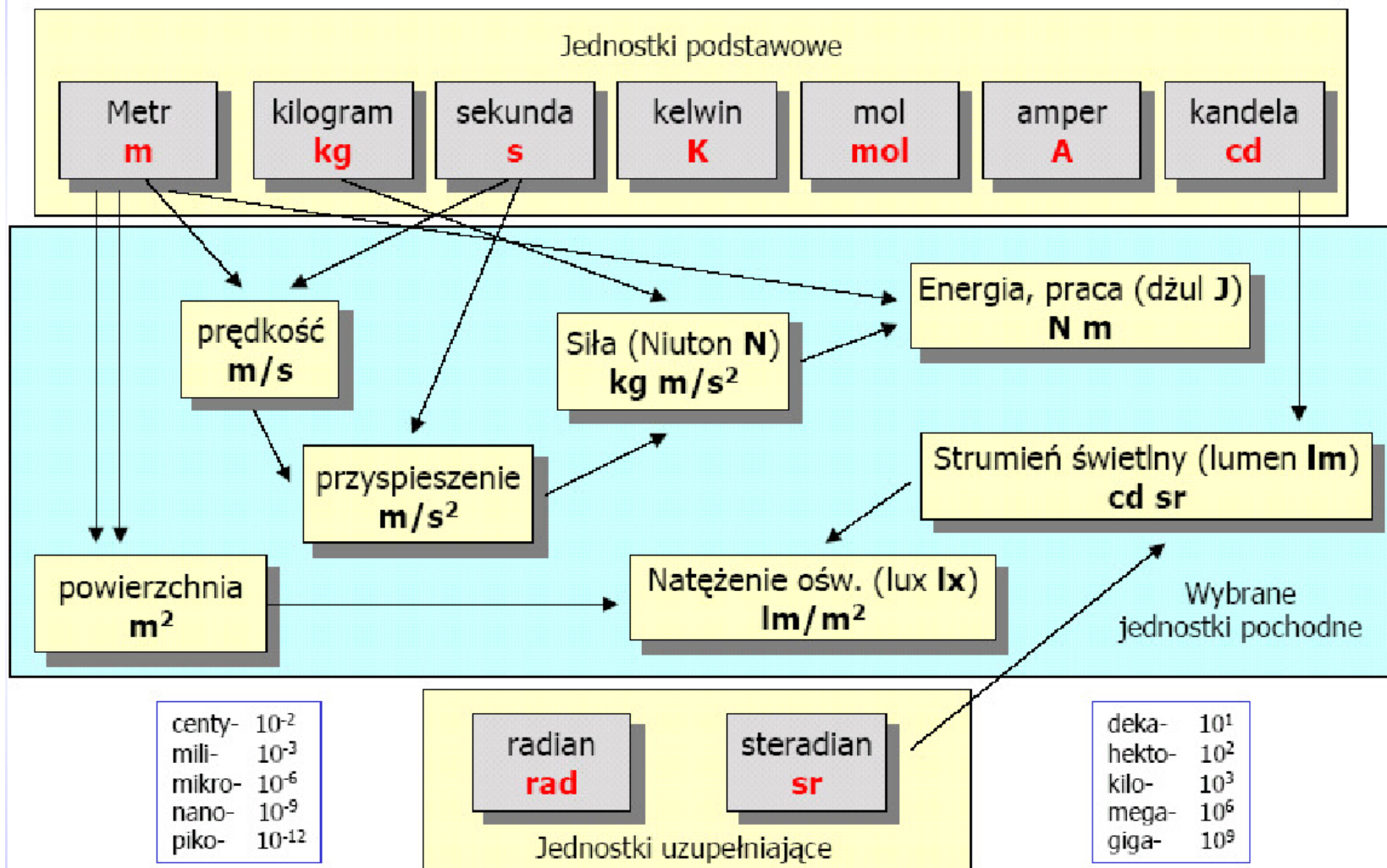
Na XX Generalnej Konferencji Miar w 1995 r. została podjęta rezolucja H włączająca radian i steradian do zbioru jednostek pochodnych.

Radian – jest jednostką uzupełniającą układu SI oznaczającą miarę kąta płaskiego. Jest to kąt płaski równy kątowi między dwoma promieniami koła, wycinającymi z okręgu tego koła łuk o długości równej promieniowi;

Steradian – jest jednostką uzupełniającą układu SI określającą wartość kąta bryłowego. Jest to kąt bryłowy o wierzchołku w środku kuli, wycinający z powierzchni tej kuli pole równe kwadratowi jej promienia.

Międzynarodowy układ jednostek miar SI (*Systeme International*)

Wartość wielkości = liczba x jednostka
np.:
7,34 kg, 230 m², 4,21 A, 45 m/s, 0,4 V



System oceny zgodności wyrobów

Po 1985 roku wprowadzono w Unii Europejskiej tzw. Nowe Podejście do harmonizacji przepisów technicznych. **Dyrektywy Nowego Podejścia** zawierają tylko zasadnicze wymagania związane z bezpieczeństwem, zdrowiem, ochroną konsumenta i ochroną środowiska. Pozostałe szczegóły techniczne zawarte są w odpowiednich, zharmonizowanych **normach europejskich (EN)**. Każda z dyrektyw Nowego Podejścia nakłada obowiązek umieszczenia na podlegających jej wyrobach **oznakowania „CE”**.

Obowiązek spełnienia wymagań wynikających z dyrektyw ciąży na producencie danego wyrobu. Jeśli konkretna dyrektywa dla danego typu wyrobu wymaga udziału **jednostki certyfikującej** (tzw. **jednostki notyfikowanej**), należy wybrać taką jednostkę i uzyskać od niej odpowiedni certyfikat.

Wymagania dotyczące systemu oceny zgodności wyrobów (w tym elektrycznych), uregulowane w następujących aktach prawnych:

- 1) Ustawa z dnia 30 sierpnia 2002 r. o systemie oceny zgodności [Dz.U.10.138.935];
- 2) Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 sierpnia 2007 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla sprzętu elektrycznego [Dz.U.07.155.1089 z późn. zm];
- 3) Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady;
- 4) Wykaz Polskich Norm zharmonizowanych.

Narzędzia pomiarowe

Proces pomiarowy polegający na bezpośrednim porównywaniu wielkości mierzonych z umownie przyjętą jednostką jest realizowany przy wykorzystaniu zespołu nowoczesnych środków technicznych, nazywanych narzędziami pomiarowymi, przeznaczonymi do wykonywania pomiarów.

Do narzędzi pomiarowych zalicza się:

- 1) wzorce;
- 2) przyrządy pomiarowe;
- 3) przetworniki pomiarowe.

Wzorce, są to urządzenia pomiarowe służące **do odtwarzania jednostki miary** wielkości lub odtwarzające, praktycznie niezmiennie i z określoną dokładnością, jedną lub kilka wartości danej wielkości.

W zależności od przeznaczenia wzorce dzieli się na etalony; wzorce I i II rzędu oraz wzorce użytkowe. Wzorzec pierwotny o największej dokładności nazywa się **etalonem**; przeznaczony wyłącznie do przekazywania jednostki miary innym wzorcom.

Wśród wzorców wyróżnia się:

- 1) Wzorzec podstawowy – o największej dokładności, może być wzorcem składającym się z kilku do kilkunastu wzorców. Jego wartość określa się jako np. średnią wartość miar wzorców wchodzących w skład grupy;
- 2) Wzorzec-świadek – jest wzorcem przeznaczonym do kontroli stałości wzorca podstawowego lub do zastąpienia go w przypadku uszkodzenia;
- 3) Wzorce odniesienia – służą do porównania z wzorcami o mniejszej dokładności – tzw. wzorcami kontrolnymi;
- 4) Wzorce robocze – są okresowo porównywane z wzorcami kontrolnymi;
- 5) Certyfikowane przyrządy pomiarowe użytkowe – biorą bezpośredni udział w pomiarach.

Wzorce odpowiadające podstawowym jednostkom układu SI:

- 1) Naturalny wzorzec temperatury;
- 2) Atomowy wzorzec czasu;
- 3) Sztuczne wzorce: masy, światłości;
- 4) Wzorce pośrednie, np.: wzorzec natężenia prądu można odtworzyć za pomocą sztucznych wzorców napięcia i rezystancji.

Wzorce najczęściej używane w metrologii elektrycznej :

- 1) źródła prądu stałego;
- 2) źródła wzorcowych napięć stałych;
- 3) rezystancji;
- 4) pojemności;
- 5) indukcyjności własnej i wzajemnej;
- 6) źródła częstotliwości wzorcowych.

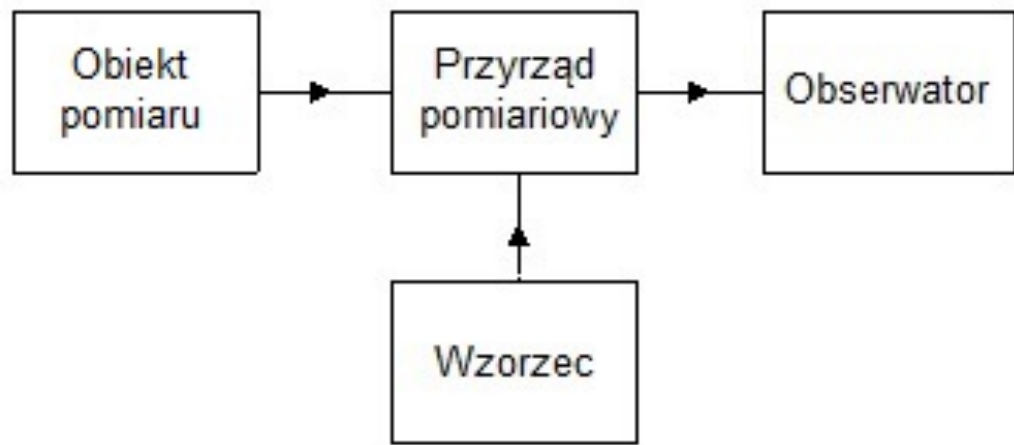
Obiekt pomiaru, proces pomiarowy, przyrządy pomiarowe

Obiekt pomiaru jest zbiorem cech rozróżnianych zarówno jakościowo, jak i ilościowo. Te cechy, które można wyrazić ilościowo, nazywane są wielkościami, które podlegają pomiarom

W procesie pomiarowym wykorzystywanych jest wiele elementów składowych, stanowiących łącznie system pomiarowy.

W procesie pomiarowym biorą udział następujące elementy:

- obiekt pomiaru,
- przyrząd pomiarowy,
- obserwator.



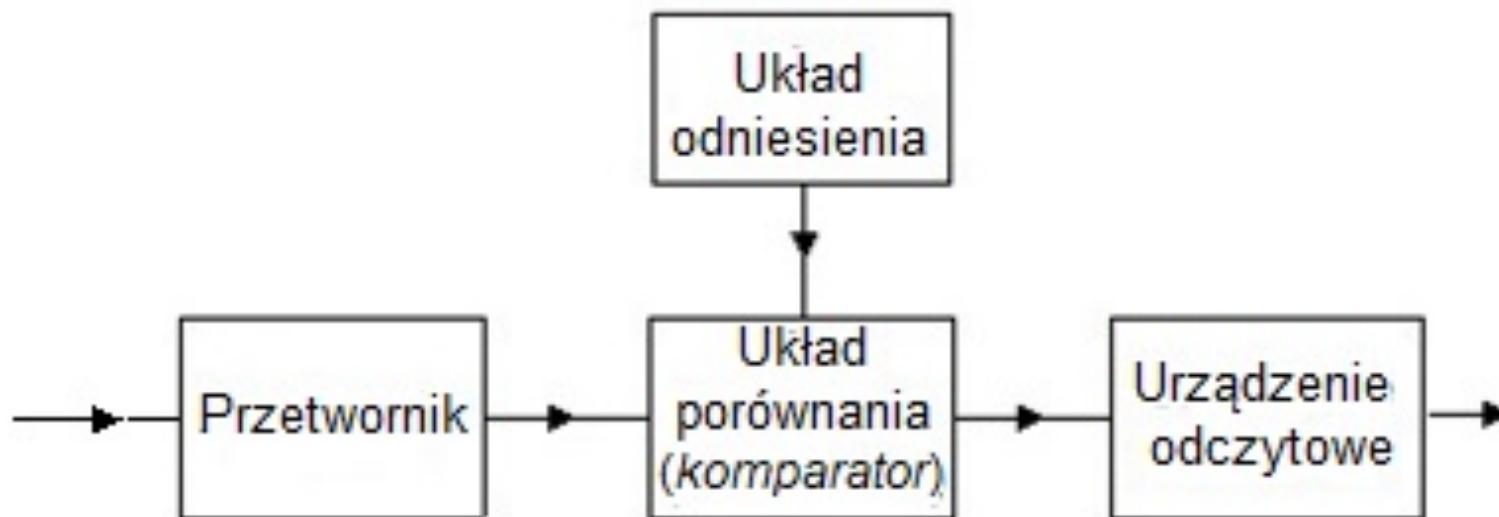
Schemat przebiegu procesu pomiarowego

Wzorzec pomiaru, w większości przypadków nie bierze udziału w procesie pomiarowym, a służy jedynie do przekazywania przyrządom miary wielkości (do ich wzorcowania). Wykonanie pomiaru wymaga określenia skali pomiarowej, użycia odpowiednich narzędzi pomiarowych i zastosowania właściwej metody pomiarowej.

Przyrząd pomiarowy jest urządzeniem pomiarowym służącym do przetwarzania wielkości mierzonej na wskazania lub inną równoważną informację.

Przyrządy pomiarowe można podzielić, ze względu na charakter wyjściowej informacji pomiarowej przekazywanej obserwatorowi (uwzględniając również sposób i postać ekspozycji wyniku pomiaru), na analogowe i cyfrowe.

Pomiary przyrządem mogą być wykonywane samodzielnie lub w połączeniu z jednym lub z wieloma urządzeniami dodatkowymi.



Schemat funkcjonalny przyrządu pomiarowego

Według spełnianych funkcji przyrządy pomiarowe i przetworniki dzielą się na:

Mierniki, – to przyrządy pomiarowe wyskalowane w jednostkach miary wielkości mierzonej. Nazwy ich pochodzą od jednostek miar, w których są wyskalowane lub od nazw mierzonych wielkości. Mierniki klasyfikuje się również:

- a) ze względu na sposób ekspozycji wskazań oraz
- b) w zależności od nazw wielkości mierzonej (lub ich jednostek);

Rejestratory – to przyrządy pomiarowe umożliwiające zapis wartości wielkości mierzonej w funkcji wielkości. Przyrządy rejestrujące wykonuje się jako elektromechaniczne, elektrooptyczne, elektroniczno – optyczne;

Charakterografy – to przyrządy pomiarowe umożliwiające obserwację, pomiar lub rejestrację charakterystyk elementów biernych i czynnych oraz układów elektrycznych;

Detektory zera – służą do stwierdzenia istnienia lub zaniku wielkości (np. strumienia magnetycznego);

Przetworniki pomiarowe – klasyfikuje się według funkcjonalnej zasady podziału na: przetworniki zmiany skali i przetworniki charakteru sygnału pomiarowego.

Podział mierników ze względu na sposób ekspozycji wskazań

Nazwa miernika pomiarowego pochodzi od wielkości mierzonej (np. częstotliwościomierz), od zasady działania (kompensator, komparator), od jednostki miary (amperomierz, woltomierz).

Ze względu na sposób ekspozycji wskazań mierniki dzieli się na:

- 1) **analogowe** – wskazówkowe urządzenia elektromechaniczne, w których sygnał wejściowy jest odwzorowany na odczyt ciągły, mogący przyjmować w teorii nieskończenie wiele wartości),
- 2) **cyfrowe** – działające na zasadzie przetwarzania ciągłego sygnału wejściowego na wartość liczbową wielkości mierzonej, zapisaną w odpowiednim kodzie na wyświetlaczu cyfrowym.

Mierniki analogowe są nadal powszechnie stosowane pomimo tego, iż technika cyfrowa zdecydowanie wypiera analogowe techniki pomiaru.

Do zalet mierników analogowych należy zaliczyć ich niezawodność, prostotę budowy i stosunkowo niską cenę, a także możliwość pracy bez konieczności zewnętrznego zasilania.

Do wad przyrządów analogowych zalicza się przede wszystkim – duża niepewność pomiaru i częste błędy odczytu wyniku oraz brak możliwości współpracy z komputerowymi systemami pomiarowymi.

Porównując parametry obu przyrządów należy stwierdzić, że np. **rezystancja wewnętrzna woltomierzy analogowych jest dużo mniejsza niż cyfrowych**, co ma znaczący wpływ przyrządu analogowego na badany obiekt, a w konsekwencji zakłócenie pomiaru.

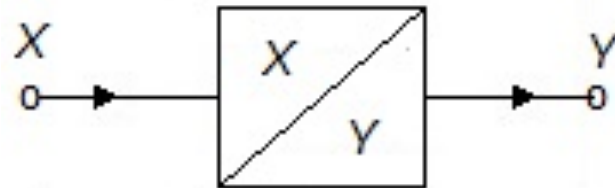
W przypadku przyrządów cyfrowych problem ten w zasadzie nie występuje, gdyż rezystancja wewnętrzna woltomierzy cyfrowych jest bardzo duża i zawiera się w zakresie **od 10 MΩ do 10 GΩ**.

Innym parametrem przemawiającym na korzyść przyrządów cyfrowych jest ich **mała niepewność wyniku pomiaru**. W zależności od mierzonej wielkości, może być ona do kilku razy mniejsza niż w przypadku pomiaru przyrządem analogowym. Ponadto zaletą przyrządów cyfrowych jest to, że nie występuje dodatkowa niepewność związana ze zjawiskiem paralaksy, gdyż wynik jest odczytywany z wyświetlacza wielosegmentowego.

Przetworniki pomiarowe

Wykonanie bezpośredniego pomiaru wielkości mierzonej X przy użyciu przyrządu pomiarowego może okazać się niemożliwe bez przekształcenia jej w łatwiej mierzalną wartość Y . Proces zamiany wielkości X na wielkość Y , przy zachowaniu informacji o wielkości X , nosi nazwę **przetwarzania**. Nowa wielkość Y nazywa się sygnałem pomiarowym

Urządzenie dokonujące zmiany wartości X na Y nazywa się przetwornikiem pomiarowym



Przetwornik pomiarowy jest narzędziem służącym do przetwarzania (z określoną dokładnością) sygnału pomiarowego, zawierającego informację o wartościach wielkości fizycznych i związkach między nimi.

Przetwornik pomiarowy może być samodzielnym urządzeniem pomiarowym lub stanowić jego część.

Sygnal przetwarzany (wejściowy) i **sygnal przetworzony** (wyjściowy) przenoszą informację w postaci liczb. Sygnal pomiarowy zawiera informację pomiarową, stąd wartość wielkości mierzonej można wyznaczyć z wartości sygnału pomiarowego. Nośnikiem sygnału jest wielkość opisująca procesy energetyczne przenoszące informację.

Przetworniki zmiany skali – charakteryzujące się tym, że wielkość mierzona (wejściowa) i sygnał pomiarowy (wyjściowy) są na ogół takie same (np. napięcia na napięcie, prądu na prąd, a także napięcia na prąd i prądu na napięcie.), różnią się natomiast tylko skalą lub skalą i poziomem energii. Zgodnie z tą definicją przetworniki pomiarowe zmiany skali dzielą się również na:

a) **pasywne**, które całą energię zużywaną w procesie przetwarzania czerpią ze źródła sygnału wejściowego (np. dzielniki napięcia, przekładniki prądu),

b) **aktywne**, które zużywaną w procesie przetwarzania energię czerpią spoza źródła sygnału wejściowego (np. przetworniki pomiarowe ze wzmacniaczami operacyjnymi i sprzężeniem zwrotnym);

Przetworniki zmiany postaci sygnału – może następować zmiana przebiegu czasowego takich samych wielkości. Zależnie od postaci sygnałów rozróżnia się przetworniki pomiarowe:

a) analogowe (A/A) – przetwarzające sygnał wejściowy analogowy na sygnał wyjściowy również analogowy (np. przekładnik napięciowy transformujący napięcie wysokie na niskie, przetwornik pomiarowy ciśnienia na prąd elektryczny),

b) analogowo-cyfrowe (A/C) – przetwarzające sygnał wejściowy analogowy na sygnał wyjściowy cyfrowy (np. przetwornik pomiarowy prądu elektrycznego na sygnał cyfrowy w kodzie dwójkowym; przetwarzanie analogowo-cyfrowe),

c) cyfrowo-analogowe (C/A) – przetwornik pomiarowy o działaniu odwrotnym niż przetwornik pomiarowy a/c,

d) cyfrowo-cyfrowe (C/C) — przetwarzające sygnał wejściowy cyfrowy na sygnał wyjściowy też cyfrowy (np. przetwornik pomiarowy sygnału w kodzie dwójkowym na sygnał w kodzie dziesiętnym). Przykładem przetworników zmiany postaci sygnałów są przetworniki wielkości nieelektrycznych w sygnał pomiarowy elektryczny (np. przetworniki fotoelektryczne, rezystancyjne, termoelektryczne, położenia itp.);

Metody pomiarowe

Metoda pomiarowa jest zespołem czynności wykonywanych w czasie pomiaru celem określenia wartości wielkości mierzonej. Stosuje się różne metody pomiarowe w zależności od rodzaju wielkości mierzonej, wymaganej dokładności, sposobu opracowania wyników i warunków pomiaru. Praktycznie tę samą wielkość (na przykład rezystancję) można mierzyć różnymi metodami.

Metody pomiarowe można podzielić z uwagi na sposób:

- przetwarzania sygnału pomiarowego
- uzyskiwania wyniku pomiaru,
- porównywania wielkości mierzonych z wzorcami.

Wyróżnia się następujące metody pomiarowe:

- 1) **Metoda pomiarowa bezpośrednia**, wartość wielkości mierzonej otrzymuje się bezpośrednio, bez potrzeby dodatkowych obliczeń, np. pomiar napięcia – woltomierzem, pomiar natężenia prądu – amperomierzem;
- 2) **Metoda pomiarowa pośrednia** – mierzy się bezpośrednio nie wielkość badaną Y , lecz wielkości A, B, C , związane z wielkością Y zależnością funkcyjną $Y = f(A, B, C)$, ustaloną teoretycznie lub doświadczalnie. Przykładem jest pomiar mocy P lub pomiar rezystancji R za pomocą woltomierza (napięcie U) i amperomierza (prąd I), a następnie obliczenie mocy $P = U \cdot I$ lub rezystancji $R = U / I$;
- 3) **Metoda różnicowa** – polega na pomiarze różnicy między wartością wielkości mierzonej a mało różniącą się od niej znaną wartością tej samej wielkości, np. pomiar siły elektromotorycznej (sem) E_x badanego ogniwa polega na porównaniu z siłą elektromotoryczną E_w ogniwa wzorcowego i pomiarze różnicy sem ΔE . Pomiar badanej wielkości metodą różnicową jest tym dokładniejszy, im mniejsza jest różnica między wartością wielkości mierzonej a wzorcem. Na przykład, jeżeli różnica sem ΔE wynosi 10% E_w i jest zmierzona z niepewnością $\pm 0,3\%$, to niepewność pomiaru badanej sem E_x wynosi ok. $\pm 0,03\%$, ponieważ $E_x = E_w + \Delta E$.

Przyrządy pomiarowe analogowe

Przyrządem pomiarowym analogowym jest narzędzie pomiarowe, które przetwarza mierzoną wielkość na wskazanie proporcjonalne do wartości wielkości mierzonej. W tym przypadku są to wychylenia wskazówki miernika określane względem skali przyrządu.

Rozróżnia się przyrządy analogowe:

- a) **o działaniu bezpośrednim** – energia zużywana na wychylenie ruchomego elementu przyrządu jest pobierana bezpośrednio z obiektu badanego,
- b) **o działaniu pośrednim** – energia potrzebna do przemieszczenia ruchomego elementu przyrządu jest dostarczana ze źródła pomocniczego.

Do podstawowych parametrów przyrządów analogowych (wskazówkowych) zalicza się:

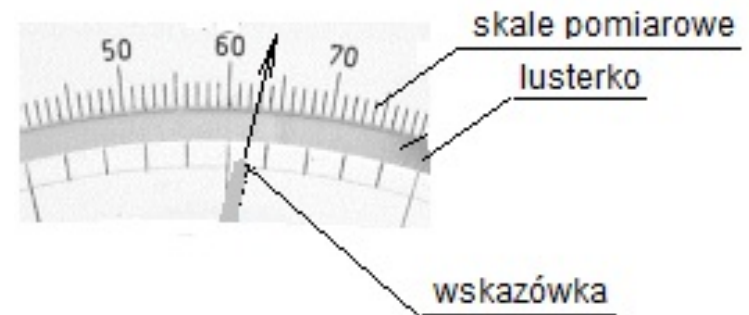
Stała miernika – jeżeli miernik jest wyposażony we wskaźnik, który ma naniesioną podziałkę liniową (równe odległości między kolejnymi działkami), to stała miernika jest równa stałej podziałki.

$$S = \frac{X_N}{\alpha_{\max}}$$

Stała podziałki (S) – jest to stosunek wartości nominalnej podzakresu pomiarowego X_N do maksymalnej liczby działek na podziałce miernika (α_{\max}):

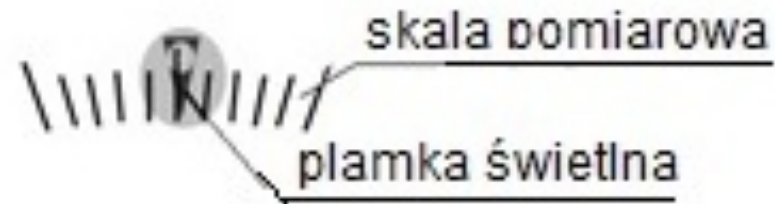
Podziałka – jest to uporządkowany zbiór znaków (najczęściej kresek – wskazów). Dla ułatwienia odczytu niektóre z tych znaków mogą być opisane cyframi. Część podziałki między sąsiednimi wskazami nazywa się działką elementarną. Długość podziałki oraz liczba działek są ściśle zależne od klasy oraz gabarytów miernika. Im klasa wyższa tym podziałka dłuższa, a liczba działek większa.

Do wad przyrządów analogowych zalicza się w szczególności możliwość niedokładnego odczytu wartości wskazywanej przez urządzenie odczytowe miernika. Urządzenie odczytowe składa się z podzielnicy, na której naniesiona jest podziałka oraz wskazówki – materialnej



Charakterystyczną cechą mierników analogowych jest **zdolność rozdzielcza**, która określa najmniejszą część działki możliwą do odczytania. W zależności od odległości między sąsiednimi wskazami przyjmuje się, że zdolność rozdzielcza wynosi 0.5, 0.2 lub 0.1 mm (działki). Przyjęcie przez obserwatora zbyt małej zdolności rozdzielczej zwiększa błąd odczytu, zależny przede wszystkim od staranności obserwatora.

Dla ułatwienia samego odczytu umieszcza się pod wskazówką lusterko lub stosuje się wskazówkę świetlną



Wskazówka świetlna powstaje na zasadzie odbicia światła z żarówki od lusterka, na którym jest naniesiony znacznik wskazówki. Lusterko jest przymocowane do osi, której kąt odchylenia od położenia równowagi zależy od wartości wielkości mierzonej. Przemieszczająca się wzdłuż podziałki plamka uniemożliwia powstanie błędu paralaksy, ponieważ cień wskazówki znajduje się bezpośrednio na podzielnicy.

Przyrządy pomiarowe cyfrowe

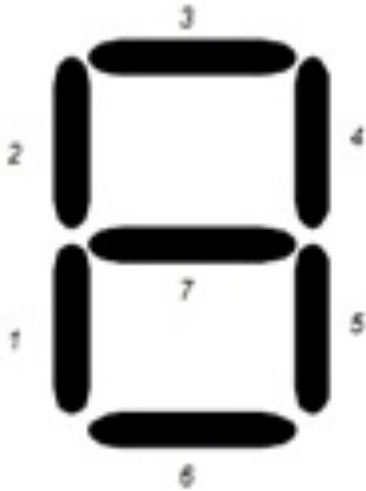
Przyrządy pomiarowe cyfrowe opierają swoje funkcjonowanie na przetwarzaniu ciągłego sygnału wejściowego na wartość liczbową wielkości mierzonej, zapisaną w odpowiednim kodzie cyfrowym.

Przyrządy cyfrowe są wygodniejsze w użyciu. Dzięki zastosowaniu wyświetlacza cyfrowego:

- nie popełnia się subiektywnych błędów związanych z odczytem wskazań oraz
- nie dokonuje się obliczeń podziałki.

Cyfrowe metody pomiarowe mogą być zastosowane do pomiaru niemal wszystkich wielkości fizycznych – zarówno elektrycznych, jak i nieelektrycznych.

Przyrządy pomiarowe cyfrowe charakteryzują się powstawaniem w czasie pomiaru tzw. **błędów grubych**. Na wyświetlaczu oprócz cyfr składających się na wynik wyświetlany jest także przecinek lub kropka dziesiętna. Na przykład wyświetlacze, szczególnie typu LED, charakteryzują się dość sporą zawodnością i bardzo często zdarza się, że znaki te nie są w czasie pomiaru wyświetlane ze względu na uszkodzenie wyświetlacza.



Przykład: uszkodzenie segmentu 7 spowoduje nierozróżnianie cyfr 8 i 0, natomiast uszkodzenie segmentu czwartego uniemożliwi rozróżnienie cyfr 6 i 8. Wynik pomiaru uzyskany przy takim uszkodzeniu wyświetlacza cyfrowego będzie niewątpliwie obarczony nadmiernym (grubym) błędem.

Rozróżnia się dwa rozwiązania wyświetlaczy:

- a) **pełne**, których na wszystkich miejscach mogą być wyświetlane wszystkie cyfry od 0 do 9,
- b) **niepełne**, na których na najwyższej pozycji (pierwsza cyfra z lewej strony) może być wyświetlana jedynie cyfra 1 lub nie wyświetlana żadna cyfra.

Błędy pomiaru

Na dokładność pomiarów wykonywanych miernikami analogowymi głównie wpływają błędy związane:

- a) z urządzeniem pomiarowym,
- b) z dokładnością odczytu oraz
- c) z metodą pomiaru.

Błędy związane z urządzeniem pomiarowym określa się tzw. metodą odchyleniową zwaną też metodą bezpośredniego odczytu. Wartość wielkości mierzonej określa się w niej na podstawie odchylenia wskazówki narzędzia pomiarowego.

Niedokładność pomiaru wykonywanego tą metodą wynika głównie z istnienia dopuszczalnego błędu systematycznego narzędzia pomiarowego, określonego jego klasą dokładności. Istnienie błędów systematycznych można stwierdzić w wyniku zastosowania innej metody pomiarowej lub zastosowania innego narzędzia pomiarowego.

Błędy związane z urządzeniem pomiarowym powstają:

- a) przy użyciu narzędzi w warunkach różnych od warunków odniesienia,
- b) przy użyciu narzędzia z przesuniętym położeniem zerowym lub błędnie wykonaną podziałką oraz
- c) przy przepływie mierzonego prądu nagrzewającego sprężyny wytwarzające moment zwrotny miernika i w konsekwencji wzrost wychylenia wskazówki.

Pomiar danej wielkości odbywa się w zasadzie jednokrotnie, a błąd ma na ogół charakter systematyczny, ograniczony dokładnością użytych przyrządów (jego błędem podstawowym i błędami dodatkowymi).

Wyróżnia się dwa sposoby pomiaru wielkości mierzonej:

- a) **Pomiar bezpośredni** – wartość wielkości mierzonej jest określana na podstawie wskazania jednego przyrządu;
- b) **Pomiar pośredni** – wyznaczana wielkość jest funkcją kilku wielkości mierzonych bezpośrednio.

Błędy związane z dokładnością odczytu

Pomiary przyrządami analogowymi wymagają starannych odczytów położenia wskazówki względem podziałki.

Dla poprawnego odczytania zmierzonej wartości w mierniku analogowym należy:

- a) dokonać wyboru skali,
- b) ustalić zakres pomiaru,
- c) zapewnić dokładność odczytu wielkości mierzonej.

Wybór skali podyktowany jest w pierwszej kolejności rozdzielczością i łatwością dokonywania przeliczeń wartości wielkości mierzonej z uwzględnieniem zakresu pomiarowego. Zwykle skale odpowiadają dostępnym zakresom miernika w ten sposób, że liczba końcowa skali odpowiada:

- a) wielokrotności (2x; 3x; 5x; 10x; 100x) lub
- b) podwielokrotności ($1/2$; $1/3$; $1/5$);

Zakres pomiaru powinien być tak wybrany, by wychylenie wskazówki znajdowało się w obszarze 50 – 90 % skali, co zapewni optymalne wykorzystanie rozdzielczości i dokładności przyrządu;

Dokładność odczytu

Błąd odczytu ma charakter błędu przypadkowego, może zostać również popełniony, jeśli obserwator nie patrzy na wskazówkę prostopadle do płaszczyzny podzielnicy. Inaczej jest to błąd krzywego patrzenia, nazywany także błędem paralaksy. Błąd ten można wyeliminować patrząc na wskazówkę prostopadle do podzielnicy. Mierniki wielozakresowe wyposażone są w zasadzie w kilka skal o różnych podziałkach, ułatwiających uzyskanie optymalnej rozdzielczości odczytu i określenie wartości wielkości mierzonej oraz lusterko pozwalające na eliminację efektu paralaksy. Przy pomiarach jednokrotnych błąd ten jest w zasadzie trudny do oszacowania.

Budowa i zasada działania mierników analogowych

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

W stanach ustalonych pomiary wykonuje się za pomocą przyrządów (mierników) wskazówkowych. **W przyrządach tych moment napędowy działa na organ ruchomy i powoduje wychylenie wskazówki, która pokazuje na skali wartość mierzonej wielkości.**

W przypadku pomiaru prądów albo napięć okresowo zmiennych skala przyrządu jest wyskalowana w wartościach średnich albo skutecznych. Organ ruchomy wytwarza moment zwracający (zwrotny), który równoważy moment napędowy. **Do wytworzenia momentu zwracającego służą sprężynki spiralne. Do ustawiania wskazówki w położeniu zerowym służy mimośród.**

Przeciwwaga ma na celu takie wyważenie organu ruchomego, aby środek ciężkości znajdował się na osi obrotu.

Pod działaniem momentu napędowego wskazówka wychyla się o kąt α , przy którym następuje zrównoważenie momentu napędowego przez moment zwracający.

Wskutek bezwładności organu ruchomego osiągnięcie stanu równowagi nie następuje natychmiast, lecz po pewnej liczbie wahnięć. Dla skrócenia czasu wahań stosuje się tłumiki, wytwarzające moment tłumiący w czasie ruchu organu ruchomego. Najczęściej stosuje się tłumienia powietrzne i wiropądowe.

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:

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

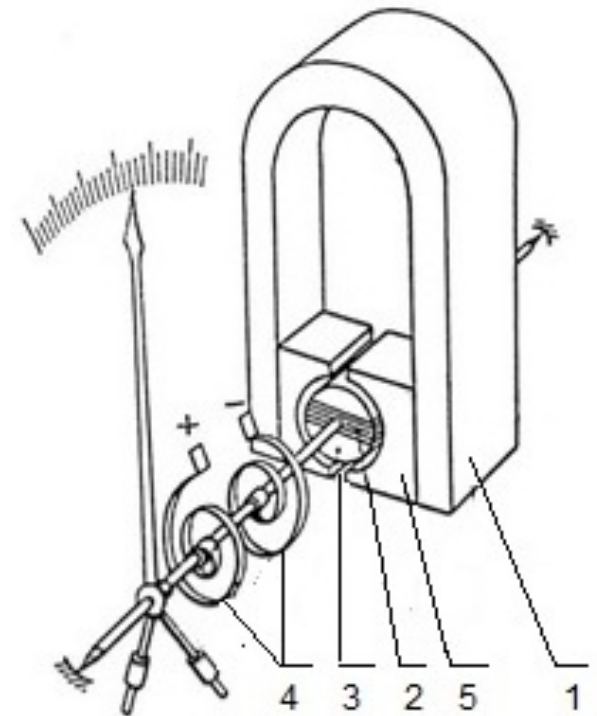
Wyróżnia się także mierniki:

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

Mierniki magnetoelektryczne

Zasada działania miernika magnetoelektrycznego polega na oddziaływaniu pola magnetycznego magnesu trwałego na cewkę organu ruchomego, przez którą płynie prąd.

Mierniki magnetoelektryczne mogą być budowane z ruchomą cewką i nieruchomym magnesem lub nieruchomą cewką i ruchomym magnesem. Kierunek wychylenia wskazówki zależy od kierunku przepływu prądu, zatem podczas pomiarów przyrządem magnetoelektrycznym należy zwracać uwagę na biegunowość. Gdy natężenie prądu podlega szybkim zmianom wychylenie wskazówki jest proporcjonalne do wartości średniej prądu. Przy przepływie prądu przemiennego momenty działające na cewkę znosiłyby się w obu półokresach i w konsekwencji wskazówka pokazywałaby zero. Dodanie do układu pomiarowego prostownika umożliwia pomiar napięć i prądów przemiennych.



1. magnes trwały,
2. cewka pomiarowa na ramce aluminiowej,
3. aluminiowa ramka i rdzeń,
4. sprężynki zwrotne,
5. nabiegunnik

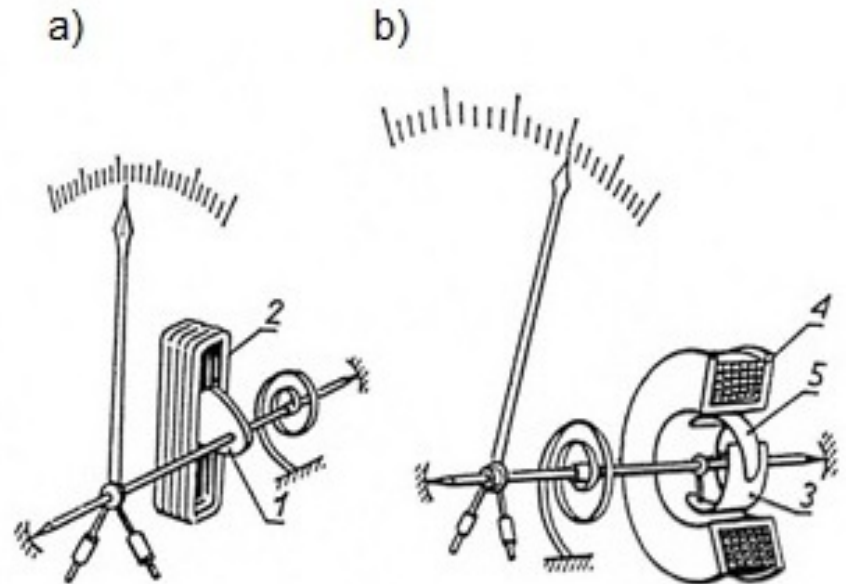
Mierniki elektromagnetyczne

Mierniki elektromagnetyczne budowane są jako jednordzeniowe i dwurdzeniowe. W miernikach jednordzeniowych rdzeń z miękkiego materiału ferromagnetycznego jest wciągany w głąb cewki elektromagnesu, a połączona z nim wskazówka wychyla się tym bardziej, im większe jest natężenia prądu płynącego przez cewkę.

W miernikach dwurdzeniowych wewnątrz cewki o kształcie cylindrycznym umieszczone są dwie blaszki – jedna nieruchoma przymocowana do cewki, druga ruchoma połączona z organem ruchomym.

- a) jednordzeniowy,
- b) dwurdzeniowy,

- 1 – aluminiowa ramka i rdzeń wykonany z materiału miękkiego magnetycznie ,
- 2 – cewka płaska,
- 3 – blaszka ruchoma,
- 4 – cewka cylindryczna,
- 5 – blaszka nieruchoma



Właściwości mierników elektromagnetycznych

Woltomierze i amperomierze elektromagnetyczne różnią się od siebie uzwojeniem cewki:

- a) **cewka woltomierza** jest wykonana z drutu nawojowego o bardzo małym przekroju i ma dużą liczbę zwojów (duża rezystancję wewnętrzną), przez którą przepływa prąd o małej wartości,
- b) **cewka amperomierza** ma małą rezystancję wewnętrzną dzięki małej liczbie zwojów wykonanych z drutu nawojowego o dużym przekroju.

Mierniki elektromagnetyczne włączane bezpośrednio do mierzonego obwodu mają zakres napięciowy od kilku V do około 600 V, a mierzone prądy mogą mieć wartość od 50 mA do ok. 300 A.

Zakres pomiarowy woltomierzy zmienia się przez zastosowanie dodatkowych rezystorów, a amperomierzy – przez zastosowanie cewek z odczepami o różnej liczbie zwojów

Do pomiaru wysokich napięć albo bardzo dużych natężeń prądów stosuje się transformatory pomiarowe o odpowiednio dobranych przekładniach, nazywane:

- przekładnikami napięciowymi i
- przekładnikami prądowymi.

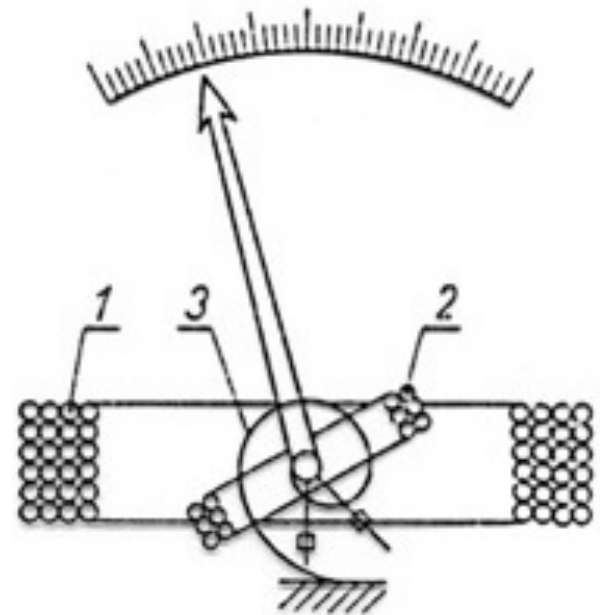
Mierniki elektrodynamiczne

Główną dziedziną zastosowań mierników elektrodynamicznych jest pomiar mocy prądu przemiennego.

Przyrząd taki nazywa się **watomierzem elektrodynamicznym**.

Mierniki elektrodynamiczne zbudowane są z dwóch cewek

- a) cewki nieruchomej – włączonej szeregowo w obwód mierzonego prądu (*cewka prądowa*),
- b) cewki ruchomej – z włączonym szeregowo rezystorem dodatkowym (*cewka napięciowa*).



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

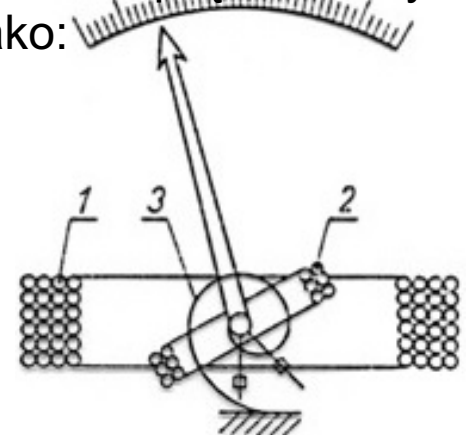
Przez cewkę napięciową płynie prąd I_2 proporcjonalny do napięcia. W zależności od przeznaczenia miernika elektromagnetycznego cewki połączone są szeregowo (w przypadku amperomierza) albo równoległe (woltomierza) i włączone do obwodu pomiarowego

Zasada działania mierników elektrodynamicznych polega na wzajemnym oddziaływaniu dwóch cewek, w uzwojeniach których płyną prądy I_1 i I_2 . Wychylenie wskazówki jest proporcjonalne do kwadratu prądu płynącego przez ustrój pomiarowy.

Moment napędowy powstaje w wyniku współdziałania pola wytworzonego przez prąd I_1 płynący przez cewkę stałą, z prądem I_2 płynącym w cewce ruchomej.

Główną dziedziną zastosowań mierników elektrodynamicznych jest pomiar mocy prądu przemiennego. Przyrząd taki nazywa się watomierzem elektrodynamicznym. Mierniki elektrodynamiczne i ferromagnetyczne służą do pomiaru prądów stałych i przemiennych. Mierniki elektrodynamiczne stosowane są jako:

- amperomierze,
- woltomierze,
- watomierze.



Amperomierze i woltomierze elektrodynamiczne mają bardziej złożoną budowę, są droższe od mierników magnetoelektrycznych i elektromagnetycznych, dlatego rzadziej są stosowane, głównie jako laboratoryjne przyrządy wzorcowe o dużej dokładności.

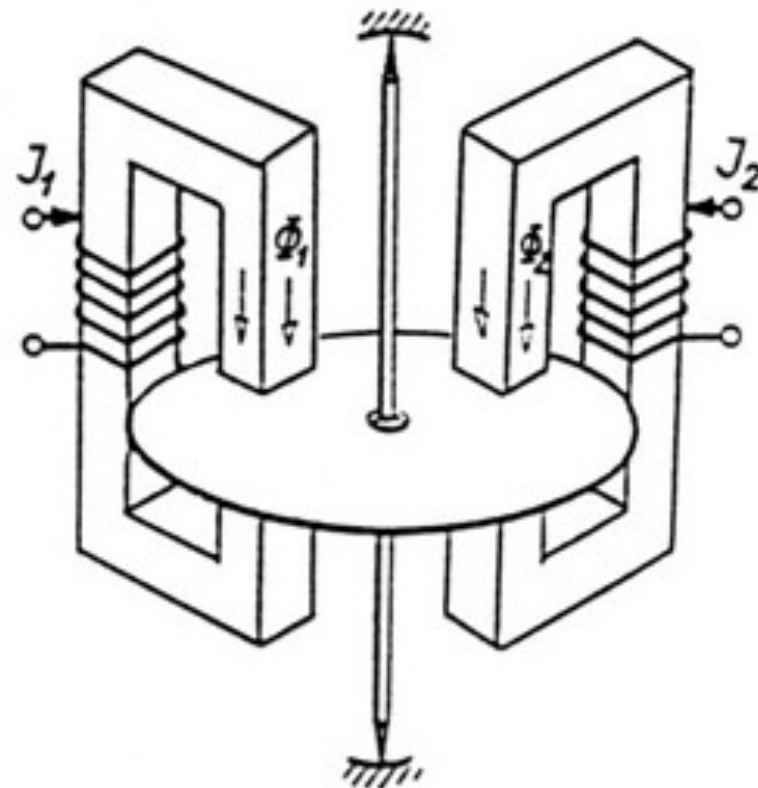
Mierniki ferromagnetyczne działają w oparciu o tę samą zasadę co mierniki elektrodynamiczne. Różnica w budowie pomiędzy nimi polega na tym, że w mierniku elektrodynamicznym linie sił pola magnetycznego wytworzonego przez cewkę nieruchomą zamykają się przez powietrze, a w ferromagnetycznym – przez szczelinę i rdzeń ferromagnetyczny.

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 płynące w cewkach elektromagnesów wytwarzają strumienie magnetyczne pulsujące, które indukują prądy wirowe w tarczy umieszczonej w szczeliny powietrznej elektromagnesów. Na prądy płynące w tarczy umieszczonej w polu magnetycznym elektromagnesów działają siły, które powodują jej obrót. Współdziałanie indukowanych w tarczy prądów wirowych ze strumieniami magnetycznymi Φ_1 i Φ_2 przesuniętymi względem siebie w przestrzeni i w fazie powoduje powstanie momentu napędowego M_n , wprawiającego wirnik w ruch obrotowy.



Mierniki indukcyjne są używane wyłącznie jako liczniki energii elektrycznej w obwodach prądu przemiennego.

Niepewność i błąd pomiaru

W języku potocznym słowo „niepewność” oznacza wątpliwość co do wartości wyniku pomiaru.

Zgodnie z definicją zawartą w normie ISO/IEC Guide 98-3 niepewność pomiaru jest parametrem związanym z wynikiem pomiaru, charakteryzującym rozrzut wartości, które można w uzasadniony sposób przypisać wielkości mierzonej („niepewność” jest zawsze liczbą).

Niepewność pomiaru zależy od wielu możliwych źródeł oddziaływania, do których należą:

- 1) Niepełna definicja wielkości mierzonej;
- 2) Niedoskonałości charakterystyk technicznych przyrządu (histereza, rozrzut wskazań, określona rozdzielczość);
- 3) Niedoskonała realizacja wielkości mierzonej;
- 4) Niereprezentatywne pomiary, których wyniki mogą nie reprezentować wielkości mierzonej;
- 5) Niepełna znajomość wpływu warunków zewnętrznych na procedurę pomiarową;

- 6) Subiektywne błędy obserwatora w odczytywaniu wskazań przyrządów analogowych (błąd paralaksy);
- 7) Skończona zdolność rozdzielcza lub próg pobudliwości przyrządu;
- 8) Niedokładne znane wartości przypisane wzorcom i materiałom odniesienia;
- 9) Niedokładne znane wartości stałych i innych parametrów, otrzymywanych ze źródeł zewnętrznych i stosowanych w procedurach przetwarzania danych;
- 10) Upraszczające przybliżenia i założenia stosowane w metodach i procedurach pomiarowych.

Norma **ISO/IEC98-3** wprowadza rozróżnienie między „niepewnością pomiaru” a „błędem” w potocznym tego słowa znaczeniu oraz przyjmuje jednolitą terminologię i metody określania niepewności pomiaru.

Określone zostały dwa znaczenia słowa „błąd”:

- 1) **ilościowe** – jako różnicę (nieznaną) między wartością zmierzoną i prawdziwą,
- 2) **jakościowe** – używane w terminach takich jak: błąd systematyczny, przypadkowy i grubość.

Dotychczas słowo „błąd” miało dwa znaczenia:

- a) jako nazwa dla faktu, że wynik pomiaru jest różny od wartości prawdziwej (rzeczywistej, która jest nieznaną) oraz
- b) jako liczbowa miara tego błędu.

Ograniczona dokładność użytych narzędzi pomiarowych oraz wpływ zmiennych warunków zewnętrznych na badany obiekt i na układ pomiarowy, a także niedostateczna znajomość wszystkich okoliczności związanych z badanym zjawiskiem powodują, że otrzymany wynik pomiaru różni się od wartości rzeczywistej (prawdziwej) wielkości mierzonej.

Miarą takiego porównania określa się dokładność pomiaru, która jest podstawową cechą zarówno narzędzi pomiarowych, jak i wyników pomiarów. Z pomiarem związana jest niepewność uzyskanego wyniku nazywana błędem pomiaru. Jest to rozbieżność między wynikiem pomiaru, a wartością rzeczywistą mierzonej wielkości. Dokładność charakteryzuje się pośrednio, podając właściwość przeciwną: błąd lub niepewność pomiaru. Elementarną i podstawową miarą liczbową (algebraiczną różnicą) między **wartością zmierzoną** (wynikiem pomiaru) X a **wartością rzeczywistą** X_p wielkości mierzonej jest **błąd bezwzględny** ΔX pomiaru, zapisany następująco:

$$\Delta X = X - X_p$$

X – jest wartością wielkości mierzonej, której błąd wyznacza się, a więc jest wynikiem pomiaru, wskazaniem przyrządu pomiarowego, nominalną (przyjętą) wartością wzorca;
 X_p – jest wartością rzeczywistą wielkości mierzonej, która powinna być otrzymana jako poprawny wynik pomiaru, poprawne wskazanie przyrządu albo wartość, którą powinno się przypisać wzorcowi.

Uważa się, że wartość X_p będzie dokładne wówczas, gdy jego niepewność jest pomijalnie mała w stosunku do ΔX (± 10 do $\pm 20\% \Delta X$).

Błąd względny pomiaru δX jest to stosunek błędu bezwzględnego ΔX do wartości rzeczywistej wielkości mierzonej X_p , czyli:

$$\delta X = \frac{\Delta X}{X_p} = \frac{X - X_p}{X_p}$$

Błąd względny lepiej charakteryzuje dokładność pomiaru niż błąd bezwzględny, bo zawiera informacje o wartości błędu bezwzględnego i rozmiarach wielkości mierzonej.

Niedokładność pomiaru wynika głównie z istnienia dopuszczalnego błędu systematycznego narzędzia pomiarowego określonego jego **klasą dokładności**,

Klasa dokładności przyrządu jest to maksymalny błąd bezwzględny ΔX popełniany w dowolnym miejscu skali, obliczony jako błąd procentowy w stosunku do pełnego zakresu pomiarowego, zaokrąglony do jednej z szeregu znormalizowanych klas dokładności, np. 0 – 1 – 0,2 – 0,5 – 1 – 1,5 – 2,5 i 5.

Wynik pomiaru na ogół różni się od wartości prawdziwej (rzeczywistej) wielkości mierzonej. Różnica między wynikiem pomiaru a wartością prawdziwą wielkości mierzonej nazywa się błędem pomiaru.

Zachowanie się błędów pomiarów tej samej wielkości mierzonej, przy kolejnym powtarzaniu doświadczenia pomiarowego, stanowi ogólne kryterium podziału, które rozróżnia błędy losowe nazwane błędami systematycznymi i nielosowe – błędami przypadkowymi.

W praktyce pomiarowej wyróżnia się trzy rodzaje błędów:

- 1) błędy systematyczne (podstawowe, dodatkowe i metody),
- 2) błędy przypadkowe oraz
- 3) błędy nadmierne.

Błędy systematyczne

Pod pojęciem błędu systematycznego rozumie się różnicę między wieloma pomiarami tej samej wartości pewnej wielkości, wykonywanymi w warunkach, które obejmują: tę samą procedurę pomiarową, tego samego obserwatora, ten sam przyrząd pomiarowy stosowany w tych samych warunkach, a wartością prawdziwą wielkości mierzonej.

Błędami systematycznymi są błędy, które podczas pomiarów tej samej wartości pewnej wielkości, wykonywanymi w tych samych warunkach, pozostają stałe – zarówno co do wartości bezwzględnej, jak i co do znaku lub błędy zmieniające się według określonego prawa wraz ze zmianą warunków.

Do źródeł powstawania błędów systematycznych zalicza się:

- a) przyrządy pomiarowe, np. skończona rezystancja wewnętrzna woltomierzy, nieliniowość wskazań przyrządów pomiarowych lub niedoskonałość ich wzorcowania,
- b) metody pomiarowe, zastosowanie nieodpowiedniej metody pomiarowej,
- c) obserwatora, np. brak doświadczenia, zmęczenie, skłonności, nawyki,
- d) obliczenia, to błędy przy niewłaściwym zaokrągleniu, niewłaściwe metody wyrównywania błędów,
- e) wpływ otoczenia na mierzącego, na przyrządy i na mierzoną wielkość.

Czynnikami wywołującymi błędy pomiaru mogą być: temperatura, ciśnienie, wilgotność powietrza, zakłócenia elektromagnetyczne.

Charakterystyczną cechą błędów systematycznych jest możliwość całkowitego lub częściowego ich usunięcia z wyniku pomiaru za pomocą poprawek, które można obliczyć lub wyznaczyć doświadczalnie.

1) **Błędy podstawowe** – są to błędy przyrządów pomiarowych występujące podczas stosowania ich w warunkach znamionowych (odniesienia), dla których określono właściwości metrologiczne przyrządu, np. wzorcowania i niedokładności konstrukcyjne oraz technologiczne. Błędy podstawowe są błędami stałymi i mogą być w czasie pomiaru kompensowane przez stosowanie poprawek do wskazań przyrządów. Poprawka jest równa wartości oszacowanego błędu systematycznego ze znakiem przeciwnym;

2) **Błędy dodatkowe** – są to błędy, których źródłem są zmiany właściwości przyrządów pomiarowych i obiektu pomiaru pod wpływem zmian warunków pomiaru w stosunku do przyjętych jako warunki odniesienia. Cechą charakterystyczną błędów dodatkowych jest to, że ich wartości zmieniają się przy ustalonej wartości wielkości mierzonej, według znanego prawa, jako funkcje wielkości wpływowych. Normalne warunki wpływowe i wartości błędów dodatkowych podawane są przez producentów aparatury pomiarowej;

3) **Błędy metody** – wynikają głównie z oddziaływania przyrządów pomiarowych na obiekt pomiaru, np. powodowane poborem energii przez przyrząd ze źródła sygnału mierzonego. Wśród błędów metody ważną grupę stanowią błędy związane ze sposobem pobierania informacji o wielkości mierzonej, właściwości narzędzia pomiarowego lub nieściśłości sposobu opracowywania wyników pomiarów. Błędy metody można na ogół sprowadzić do wartości pomijalnych przez stosowanie odpowiednich poprawek korekcyjnych lub właściwy dobór warunków pomiaru.

Błędy przypadkowe

Pod pojęciem błędu przypadkowego rozumie się błędy zmieniające się w sposób nieprzewidziany (przypadkowy, losowy), podczas wykonywania dużej liczby pomiarów tej samej wielkości w warunkach praktycznie niezmiennych.

Do głównych przyczyn powstawania błędów przypadkowych zalicza się:

- a) niedoskonałość zmysłów obserwatora i brak dostatecznej koncentracji podczas pomiarów,
- b) rozrzut wskazań przyrządów pomiarowych powodowany niestałością ich właściwości statycznych i dynamicznych,
- c) krótkotrwałe zmiany wielkości wpływowych.

Błędy nadmierne

Błędy nadmierne, zwane omyłkami lub błędami grubymi, wynikają z nieprawidłowego wykonania pomiarów, powodują jawne zniekształcenie wyniku pomiaru.

Do przyczyn pojawienia się tych błędów zalicza się:

- a) nieprawidłowy odczyt lub błędny zapis wyniku pomiaru,
- b) zastosowanie niewłaściwego przyrządu lub pomiar przyrządem uszkodzonym.

Opracowanie wyników pomiarów

- 1) Wartość liczbowa uzyskana z pomiaru powinna mieć taką liczbę cyfr znaczących, aby tylko ostatnia lub przedostatnia były niepewne (tzn. zmieniały się w trakcie pomiaru). Cyframi znaczącymi są cyfry 0÷9 z wyjątkiem cyfry 0 stojącej na początku ułamka dziesiętnego lub na końcu liczby,. Dokładność liczby przybliżonej zależy od liczby cyfr znaczących. Cyfrą znaczącą jest każda cyfra z wyjątkiem zer na początku liczby dziesiętnej.
- 2) Przy dodawaniu i odejmowaniu uwzględniamy tylko te cyfry znaczące, które występują we wszystkich składnikach;
- 3) W celu dokonania właściwego zaokrąglenia wyniku działania matematyczne przeprowadza się z uwzględnieniem najwyżej jednej cyfry znaczącej więcej niż w końcowym wyniku obliczeń;
- 4) Zaokrąglenia wyniku dokonujemy w ten sposób, że jeżeli następna cyfra po cyfrze najmniej znaczącej jest mniejsza od 5, to najmniejszą cyfrę znaczącą pozostawiamy bez zmian, a jeżeli jest większa, to najmniejszą cyfrę znaczącą zwiększamy o 1. Jeżeli następna cyfra po najmniejszej cyfrze znaczącej jest równa 5, to wynik zwiększamy o jeden na najmniej znaczącej cyfrze, jeżeli jest ona nieparzysta a zmniejszamy, jeżeli jest ona parzysta.

- 5) W związku ze specyficzną rolą cyfry 5 w zaokrągłaniu wyników dobrze jest także wiedzieć, jaka cyfra występuje po niej, ponieważ liczbę 122,51 można już zaokrąglić do liczby 123, a nie do 122,

$1230 = 1,23 \cdot 10^3$ – cztery lub trzy liczby znaczące;

$0,012 = 12 \cdot 10^{-3}$ – dwie liczby znaczące;

$0,120 = 12 \cdot 10^{-2}$ – dwie liczby znaczące.

Kontrole stanu technicznego instalacji elektrycznych w przepisach i w normach

Obowiązek kontroli stanu technicznego instalacji elektrycznych wprowadzają następujące przepisy prawa powszechnego:

- 1) Ustawa z dnia z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane [Dz.U. 1994 nr 89 poz. 414 z późn. zm.];
- 2) Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne [Dz.U. 1997 nr 54 poz. 348];
- 3) Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [Dz.U. 2002 nr 191 poz. 1596 z późn. zm.];
- 4) Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 marca 2013 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach energetycznych [Dz.U. 2013 poz. 492].

Kontrole stanu technicznego instalacji i urządzeń elektrycznych powinny być przygotowywane, organizowane i wykonywane według uznanych reguł technicznych określonych w normach:

- 1) PN-HD 60364-6:2016-07 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 6: Sprawdzenie;
- 2) PN-EN 60079-17:2008 Atmosfery wybuchowe – Kontrola i konserwacja instalacji elektrycznych
- 3) PN-EN 62353:2008 Medyczne urządzenia elektryczne – Badania okresowe i badania po naprawie medycznych.

Sprawdzanie – wszystkie czynności za pomocą których kontroluje się stan techniczny i zgodność instalacji elektrycznej z odpowiednimi wymaganiami normy HD 60364. Sprawdzanie instalacji elektrycznej obejmuje oględziny, próby i protokołowanie;

Oględziny – kontrola instalacji elektrycznej za pomocą wszystkich odpowiednich zmysłów (np. wzrok, słuch, dotyk) w celu upewnienia się, czy wyposażenie elektryczne zostało prawidłowo dobrane i zainstalowane;

Próby – użycie w instalacji elektrycznej środków pomiarowych, za pomocą sprawdzana jest jej skuteczność. Obejmuje ona ustalone za pomocą odpowiednich przyrządów pomiarowych wartości niewykrywalnych za pomocą oględzin;

Protokołowanie – zapisywanie wyników oględzin i prób;

Konserwacja – powiązanie wszystkich technicznych i administracyjnych czynności, łącznie z czynnościami nadzoru, przeznaczonych do utrzymania instalacji w stanie w którym może spełniać wymagane funkcje, lub przywrócenie tego stanu.

Kontrole okresowe instalacji elektrycznych w obiektach budowlanych

Zgodnie z art. 62.1 ustawy z dnia z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane *obiekty budowlane powinny być w czasie ich użytkowania poddawane przez właściciela lub zarządcę kontroli:*

1) *okresowej, co najmniej raz w roku, polegającej na sprawdzeniu stanu technicznego: elementów budynku, budowli i instalacji narażonych na szkodliwe wpływy atmosferyczne i niszczące działania czynników występujących podczas użytkowania obiektu,*

2) *okresowej, co najmniej raz na 5 lat, polegającej na sprawdzeniu stanu technicznego i przydatności do użytkowania obiektu, (...) budowlanego, estetyki obiektu budowlanego oraz jego otoczenia; kontrolą tą powinno być objęte również badanie instalacji elektrycznej i piorunochronnej w zakresie stanu sprawności połączeń, osprzętu, zabezpieczeń i środków ochrony od porażeń, oporności izolacji przewodów oraz uziemień instalacji i aparatów;*

3) *okresowej w zakresie, o którym mowa w pkt 1, co najmniej dwa razy w roku, w terminach do 31 maja oraz do 30 listopada, w przypadku budynków o powierzchni zabudowy przekraczającej 2000 m² oraz innych obiektów budowlanych o powierzchni dachu przekraczającej 1000 m².(...)*

Kontrole stanu technicznego instalacji i urządzeń elektrycznych (sprawdzanie odbiorcze i okresowe), mogą być wykonywane przez osoby wykwalifikowane w zakresie sprawdzania.

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 28 kwietnia 2003 r. w sprawie szczegółowych zasad stwierdzania posiadanych kwalifikacji przez osoby zajmujące się eksploatacją urządzeń instalacji i sieci (Dz. U. Nr 89, poz. 828); eksploatacją urządzeń elektrycznych mogą zajmować się osoby, które spełniają wymagania kwalifikacyjne dla następujących rodzajów prac i stanowisk pracy:

a) eksploatacji „E” – do których zalicza się stanowiska osób wykonujących prace w zakresie obsługi, konserwacji, remontów, montażu i kontrolno-pomiarowym,

b) dozoru „D” – do których zalicza się stanowiska osób kierujących czynnościami osób wykonujących prace w zakresie określonym j.w. oraz stanowiska pracowników technicznych sprawujących nadzór nad eksploatacją urządzeń, instalacji i sieci. Prace, o których mowa w pkt. a, dotyczą wykonywania czynności niezbędnych do dokonania oceny stanu technicznego, parametrów eksploatacyjnych, jakości regulacji i sprawności energetycznej urządzeń, instalacji i sieci – w zakresie kontrolno-pomiarowym;

Próby i pomiary należy wykonywać przy użyciu urządzeń pomiarowych spełniających wymagania **PN-EN 61557** Bezpieczeństwo elektryczne w niskonapięciowych sieciach elektroenergetycznych o napięciach przemiennych do 1 000 V i stałych do 1 500 V — Urządzenia przeznaczone do sprawdzania, pomiarów lub monitorowania środków ochronnych.

Dopuszcza się stosowanie innych urządzeń pomiarowych, jeżeli posiadają one nie gorsze własności użytkowe i zapewniają co- najmniej taki sam poziom bezpieczeństwa;

Podczas kontroli instalacji należy przestrzegać „**zasady ochrony zastanej**” polegającej na uwzględnieniu stanu technicznego sprawdzanej instalacji elektrycznej, spełniającej wymagania przepisów i norm z okresu ich projektowania i budowy, o ile późniejsze przepisy nie wymagały doprowadzenia ich do stanu zgodnego z aktualnymi normami lub obowiązującymi przepisami;

W czasie prób i pomiarów należy zastosować środki ostrożności w celu upewnienia się, że sprawdzenie nie spowoduje niebezpieczeństwa dla ludzi i zwierząt domowych oraz nie spowoduje uszkodzenia obiektu i wyposażenia, nawet gdy obwód jest wadliwy.

Sprawdzanie odbiorcze instalacji elektrycznej niskiego napięcia należy przeprowadzić, jeżeli to możliwe, podczas montażu oraz po zakończeniu procesu budowy, przebudowy lub remontu, przed przekazaniem do eksploatacji. Osobie przeprowadzającej sprawdzenie instalacji elektrycznej należy udostępnić informacje wymagane według normy 60364-5-51:2005, 514.5, a także informacje niezbędne do wykonania tej czynności.

Sprawdzanie odbiorcze urządzeń i instalacji elektrycznych powinno obejmować porównanie wyników z odpowiednimi kryteriami w celu stwierdzenia, że wymagania norm 60364 zostały spełnione.

W przypadku rozbudowy lub zmiany istniejącej instalacji należy sprawdzić, czy ta rozbudowa lub zmiana jest zgodna z wymaganiami 60364 i czy nie spowoduje pogorszenia stanu bezpieczeństwa istniejącej instalacji elektrycznej;

Sprawdzenie odbiorcze instalacji elektrycznej powinno w szczególności obejmować:

- 1) sprawdzanie dokumentacji obiektów:
 - a) projekt techniczny (opisy techniczne, schematy elektryczne itp.),
 - b) dokumentację fabryczną dostarczoną przez dostawcę urządzeń (karty gwarancyjne, świadectwa, instrukcje obsługi, opisy techniczne, rysunki konstrukcyjne i montażowe),
 - c) dokumenty przekazania urządzeń do eksploatacji (protokoły z przeprowadzonych prób i pomiarów elektrycznych i prób funkcjonalnych urządzeń);
- 2) oględziny elementów badanej instalacji;
- 3) pomiary parametrów technicznych instalacji;
- 4) próby funkcjonalne urządzeń i instalacji;
- 5) sporządzanie protokołów odbioru robót zanikających i ulegających zakryciu.

Sprawdzenie okresowe, obejmujące szczegółowe badanie instalacji, należy przeprowadzać bez jej demontażu lub – jeżeli jest wymagany – z częściowym jej demontażem, i uzupełnić właściwymi próbami i pomiarami, łącznie ze sprawdzeniem mającym na celu wskazanie, że spełnione są wymagania dotyczące czasów samoczynnego wyłączenia zasilania przez wyłączniki różnicowoprądowe (RCD), aby zapewnić:

- a) bezpieczeństwo osób i zwierząt domowych przed skutkami porażenia elektrycznego i oparzenia;
- b) ochronę mienia przed uszkodzeniem spowodowanym pożarem lub ciepłem powstałym na skutek uszkodzenia instalacji;
- c) sprawdzenie prawidłowości doboru oraz nastaw urządzeń ochronnych i monitorujących
- d) potwierdzenie, że instalacja nie jest uszkodzona, a obniżone jej właściwości nie pogorszą bezpieczeństwa;
- e) ujawnienie wad instalacji i odchyłeń od wymaganych odpowiednich części 60364, które mogą spowodować niebezpieczeństwo;
- f) potwierdzenie, że zarówno dobór, jak i nastawy urządzeń ochronnych i monitorujących, są prawidłowe.

Oględziny instalacji elektrycznej wykonuje się zwykle przed próbami oraz przed włączeniem zasilania instalacji. Celem oględzin instalacji jest sprawdzenie, czy urządzenie elektryczne zostało zainstalowane zgodnie z instrukcjami producenta, tak aby nie wpływało to niekorzystnie na działanie tego urządzenia. Oględziny instalacji elektrycznych i wyposażenia w obiekcie budowlanym powinny obejmować sprawdzenie:

- a) stanu ochrony przed porażeniem elektrycznym
- b) b) rodzaju zastosowanych środków ochrony przeciwpożarowej;
 - występowanie przegród ogniowych i środków zapobiegających rozprzestrzenianiu się ognia
 - ochrona przed skutkami działania ciepła;
 - ochrona przeciwpożarowa;
- c) doboru przewodów i ich zabezpieczeń z uwagi na obciążalność prądową i spadek napięcia;
- d) doboru, nastawienie, selektywność i koordynacja urządzeń zabezpieczających, monitorujących i sygnalizacyjnych;
- e) doboru i lokalizacji obwodów zasilających oraz urządzeń ochronnych przepięciowych (SPD) stosowanych w miejscach wymaganych;
- f) doboru i prawidłowego umieszczania urządzeń do odłączania izolacyjnego i łączenia;

- g) doboru urządzeń i wyposażenia oraz środków ochrony, do spodziewanych wpływów zewnętrznych i zagrożeń mechanicznych;
- h) oznaczenia przewodów czynnych, neutralnych i ochronnych;
- i) przyłączenie łączników jednobiegunowych do przewodów fazowych;
- j) obecność wymaganych schematów, napisów ostrzegawczych i informacyjnych;
- k) oznakowanie zacisków urządzeń i zakończeń przewodów oraz urządzeń zabezpieczających;
- l) poprawność połączeń przewodów; należy sprawdzić, czy zaciski są odpowiednio dobrane do przewodów i czy łączenie jest wykonane poprawnie;
- m) sprawdzenie połączeń przewodów ochronnych (PE, PEN, wyrównawczych, uziemiających);
- n) dostępność do urządzeń umożliwiająca wygodną obsługę, identyfikację i konserwację;
- o) połączenia części przewodzących dostępnych z instalacją uziemiającą;
- p) doboru oraz montażu oprzewodowania.

Próby i pomiary wykonywane przy sprawdzaniu odbiorczym i okresowym

W zależności od potrzeb należy przeprowadzić następujące próby i pomiary; w miarę możliwości w następującej kolejności

- a) Ciągłość przewodów ochronnych i czynnych w obwodach pierścieniowych;
- b) Rezystancję izolacji obwodów instalacji elektrycznej,
- c) Badanie rezystancji izolacji w celu potwierdzenia skuteczności ochrony przez SELV i PELV lub separację elektryczną;
- d) Badanie rezystancji izolacji w celu potwierdzenia skuteczności rezystancji i impedancji podłóg i ścian;
- e) Sprawdzenie biegunowości;
- f) Przeprowadzenie prób w celu potwierdzenia skuteczności ochrony przy uszkodzeniu przez samoczynne wyłączenie zasilania,
- g) Badanie rezystancji w celu potwierdzenia skuteczności środków ochrony uzupełniającej;
- h) Sprawdzenie kolejności faz,
- i) Próby funkcjonalne i operacyjne urządzeń elektrycznych,
- j) Spadki napięcia.

Jeżeli wynik którejkolwiek próby lub pomiaru wskazuje na niespełnienie wymagań, to – po usunięciu przyczyny uszkodzenia – próbę tę i każdą poprzedzającą, jeżeli wykryte uszkodzenie może mieć wpływ na ich wynik, należy powtórzyć.

Częstotliwość sprawdzania okresowego

Użytkownicy instalacji elektrycznych powinni ustalić częstotliwość sprawdzania okresowego instalacji, po uwzględnieniu rodzaju instalacji i wyposażenia, częstotliwości i jakości przeglądów oraz wpływów zewnętrznych. Zgodnie z PN-HD 60364-6:2016-07 częstość sprawdzania okresowego instalacji powinna być ustalana z uwzględnieniem rodzaju instalacji i wyposażenia, jej zastosowania i działania, częstości i jakości konserwacji oraz wpływów zewnętrznych, na które jest narażona. Przedział ten może wynosić na przykład parę lat, z wyjątkiem podanych niżej przypadków, w których może wystąpić większe ryzyko i powinny być wymagane krótsze okresy, np.:

- a) miejsca pracy lub pomieszczenia, w których występuje ryzyko porażenia elektrycznego, pożaru lub wybuchu spowodowanego degradacją,
- b) miejsca pracy lub pomieszczenia, w których znajdują się instalacje niskiego i wysokiego napięcia,
- c) obiekty gromadzące publiczność,
- d) tereny budowy,
- e) instalacje bezpieczeństwa (np. oświetlenia awaryjnego).

Dla instalacji elektrycznych użytkowanych w budownictwie mieszkaniowym można stosować dłuższe okresy (np. dziesięć lat).

Zaleca się sprawdzenie instalacji elektrycznej, jeżeli użytkownicy lokali mieszkalnych zamieniają się.

W instalacjach elektrycznych pozostających pod stałym skutecznym nadzorem, objętych stałym monitorowaniem stanu instalacji i urządzeń elektrycznych, zapewniającym profilaktyczną konserwację zapobiegawczą podczas normalnego użytkowania, sprawdzenia okresowe mogą być zastąpione odpowiednim systemem stałej kontroli i konserwacji instalacji i wyposażenia przez osoby wykwalifikowane.

Sprawdzanie instalacji elektrycznej na terenie budowy

Okresowe kontrole stanu technicznego instalacji elektrycznych na terenach budowy powinny być przeprowadzane w terminach określonych w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 6 lutego 2003 roku w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy wykonywaniu robót budowlanych (Dz.U. 2003 Nr 47, poz.401).

Okresowe kontrole stanu technicznego stacjonarnych urządzeń elektrycznych na terenach budowy i rozbiórki przeprowadza się co najmniej jeden raz w miesiącu, natomiast kontrole stanu technicznego i pomiaru rezystancji izolacji tych urządzeń – co najmniej dwa razy w roku, a także przed uruchomieniem urządzenia:

- 1) po dokonaniu zmian, przeróbek i napraw – zarówno elektrycznych, jak i mechanicznych,
- 2) które nie było czynne przez okres jednego miesiąca lub dłużej,
- 3) po jego przemieszczeniu.

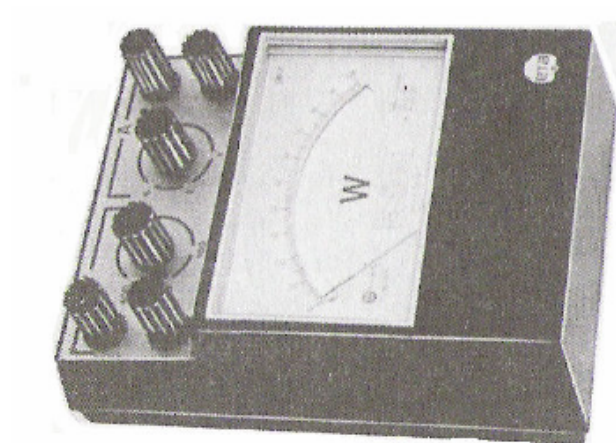
Po sprawdzeniu istniejącej instalacji elektrycznej należy sporządzić protokół sprawdzenia okresowego (w PN-HD 60364-6:2016-07, w załącznikach E, F i G, podano wzory formularzy, które można stosować do sprawdzania odbiorczego i okresowego instalacji elektrycznych).

W protokołach z prób i pomiarów (wg HD 60364-6:2016-07) powinny być zawarte informacje dotyczące:

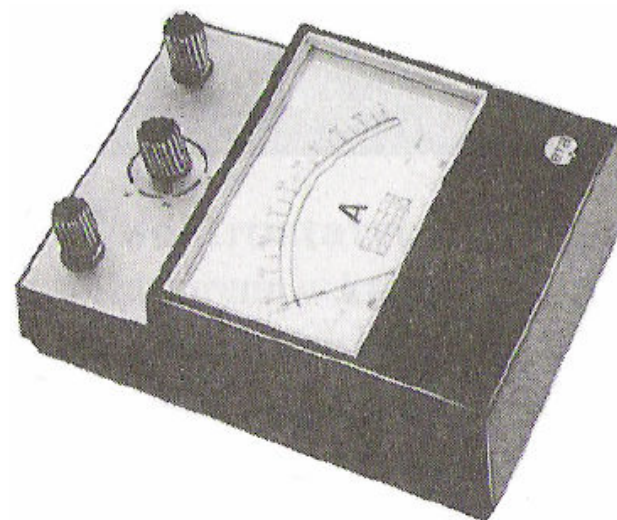
- 1) Rodzaju i zakresu badań;
- 2) Lokalizacji obiektu badania (adres, nazwa);
- 3) Instalacji lub jej części podlegającej badaniom;
- 4) Zakresu wykonanych oględzin;
- 5) Oceny wyników oględzin;
- 6) Zastosowanych metod i przyrządów pomiarowych;
- 7) Zastosowanych kryteriów oceny wyników pomiarów;
- 8) Sposobu wykonania niezbędnych obliczeń;
- 9) Wyników pomiarów (najczęściej w układzie tabelarycznym);
- 10) Ocena wyników pomiarów i wniosków z oględzin, pomiarów i prób
- 11) Daty i warunki wykonywanych pomiarów;
- 12) Datę następnych badań okresowych;
- 13) Dane osobowe i dane identyfikacyjne uprawnień osób wykonujących pomiary, oględziny, oceny i wnioski oraz podpisy.

Protokół sprawdzenia okresowego instalacji elektrycznej:

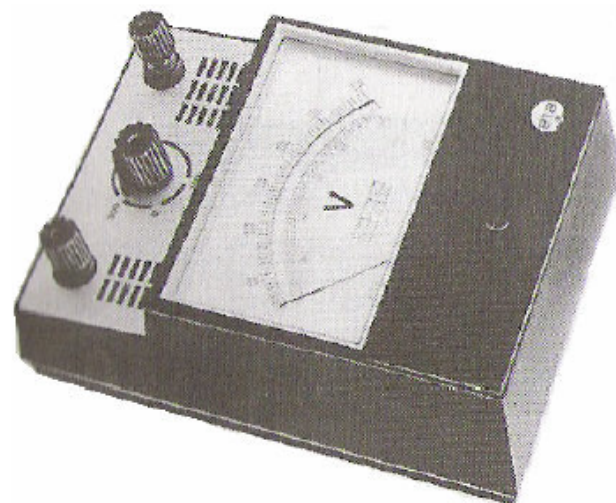
- a) może zawierać zalecenia dotyczące modernizacji, napraw lub konserwacji instalacji,
- b) powinien zawierać zalecenia dotyczące okresu do następnego sprawdzenia okresowego,
- c) powinien być opracowany i podpisany przez osobę kompetentną w zakresie sprawdzania.



Watomierz



Amperomierz



Woltomierz



Miernik cyfrowy Metex M 3630.



Miernik cyfrowy Metex MXD 4660A.

Rodzaj przyrządu	Oznaczenie	Rodzaj przyrządu	Oznaczenie
Magnetoelektryczny o ruchomej cewce		Wibracyjny	
Magnetoelektryczny ilorazowy		Termorozszerzalnościowy	
Elektromagnetyczny		Ogniwo termoelektryczne o grzaniu bezpośrednim	
Elektromagnetyczny izolowany		Ogniwo termoelektryczne o grzaniu pośrednim	
Elektrodynamiczny		Miernik magnetoelektryczny z ogniwem termoelektrycznym	
Elektrodynamiczny izolowany		Prostownik	
Ferrodynamiczny		Miernik magnetoelektryczny prostowniczy	
Indukcyjny		Miernik magnetoelektryczny z lampą elektronową	
Indukcyjny ilorazowy		Miernik magnetoelektryczny z fotonówką lub ogniwem fotoelektrycznym	
Elektrolityczny			



Dziękuję za uwagę



mgr inż. Robert Czak
tel: 0048 603687444
mail: robert.czak@op.pl