



BRANŻOWE CENTRUM
UMIEJĘTNOŚCI NR 3

Materiały szkoleniowe

POMIARY SPECJALISTYCZNE

Pracownia wykonywania instalacji elektrycznych z wykorzystaniem podzespołów, aparatów i urządzeń w inteligentnych systemach stosowanych w budynkach

Materiały opracował:

Nauczyciel praktycznych przedmiotów zawodowych

mgr inż. Łukasz Michalec

Bezpieczeństwo pracy podczas pracy elektryka

Instalacje i urządzenia elektryczne stwarzają realne ryzyko dla zdrowia i życia. Zgodnie z ich charakterem uzgodniono klasyfikację czynników wywoływanych przez elektryczność, które są szkodliwe dla zdrowia ludzkiego: prąd elektryczny, łuk elektryczny, pole elektromagnetyczne i elektryczność statyczna. Oddziaływanie każdego z nich jako szkodliwego czynnika na organizm żywej osoby przejawia się inaczej. Jednak jednym z najbardziej niebezpiecznych czynników jest prąd elektryczny. Prąd elektryczny nie ma żadnych cech fizycznych ani innych właściwości, które pozwoliłyby człowiekowi odczuć go zmysłami (wzrokiem, słuchem, węchem, smakiem) przed dotknięciem części sprzętu elektrycznego, które są normalnie narażone na napięcie lub przez pogorszenie izolacji skutki kontaktu bywają natychmiastowe. Porażenia prądem należą do najczęstszych przyczyn wypadków śmiertelnych. Nawet jeśli objawy są pozornie łagodne, organizm może doznać trwałych zmian.

O skali zagrożenia decydują przede wszystkim natężenie prądu i czas jego przepływu, a także rodzaj prądu (AC/DC), częstotliwość oraz tor przejścia przez ciało. Szczególnie niebezpieczna jest droga „prawa dłoń — lewa stopa” (przez okolice serca).

Gdy przez część ludzkiego ciała przepływa prąd większy niż 30 mA, istnieje poważne zagrożenie dla życia tej osoby, jeśli prąd ten nie zostanie szybko wyłączony.

Uwaga! Osoby bez przygotowania teoretycznego i praktycznego w zakresie elektrotechniki, zasilania oraz montażu urządzeń elektrycznych, a także bez umiejętności bezpiecznego posługiwania się podstawowymi narzędziami i wykonywania prac elektroinstalacyjnych/naprawczych, **nie powinny** podejmować takich działań. Każda pomyłka może stanowić poważne zagrożenie dla zdrowia i życia oraz prowadzić do trwałych uszkodzeń mienia lub sprzętu. Prace **te mogą wykonywać wyłącznie osoby posiadające wymagane kwalifikacje i uprawnienia elektryczne.**

Zasady bezpiecznej pracy przy urządzeniach do 0,4 kV — wymagania ogólne:

- Pracuj w granicach posiadanych uprawnień, po instruktażu stanowiskowym i pod nadzorem prowadzącego.
- Zanim rozpoczniesz czynności, upewnij się, że rozumiesz działanie układu; wskaź i kontroluj potencjalnie niebezpieczne miejsca.
- Przygotuj i uporządkuj narzędzia przed montażem/demontażem — unikniesz improwizacji w trakcie pracy.
- Utrzymuj narzędzia w dobrym stanie; codziennie kontroluj części izolowane pod kątem pęknięć i uszkodzeń.
- Narzędzia ręczne (młotki, dłuta itd.) muszą być sprawne, z pewnym mocowaniem trzonków i właściwym wykończeniem części roboczych.
- Dobieraj klucze do rozmiaru nakrętki; nie stosuj prowizorycznych przedłużeń.

- Noś i przechowuj narzędzia w torbach/szafkach narzędziowych — unikaj luźnych przedmiotów na stanowisku.
- Stosuj wymagane środki ochrony indywidualnej: rękawice i obuwie dielektryczne, maty/stojaki izolacyjne, narzędzia z izolowanymi uchwytami, wskaźniki napięcia, przenośne uziemiacze, kaski; w strefach szczególnych — okulary, odzież ochronną, ochronniki słuchu, środki ochrony dróg oddechowych.
- Zachowaj porządek na stanowisku; nie dopuszczaj do obecności nieizolowanych przewodów, ciał obcych pod stopami, czy „luźnych” kabli.
- Zlokalizuj i oznacz urządzenia odłączające (wyłącznik główny, bezpieczniki, wtyczki); zapewnij do nich łatwy dostęp.
- **Nigdy nie zakładaj, że obwód jest beznapięciowy — zawsze sprawdzaj wskaźnikiem/multimetrem. Przed pracą odłącz zasilanie.**
- Oznakuj strefę pracy tablicami ostrzegawczymi/zakazu; stosuj blokady i inne środki organizacyjne.
- Zabezpieczaj otwory technologiczne i krawędzie — balustrady min. 1,1 m.
- Zorganizuj kolejność robót tak, aby nie stwarzać zagrożeń dla osób w pobliżu.
- Po wykonaniu lub zmianie połączeń, przed załączeniem napięcia, zgłoś gotowość do kontroli prowadzącemu.
- Pracuj przy dobrym oświetleniu; niewystarczające światło zwiększa ryzyko błędu i przeciążenia wzroku.
- Nie pracuj w zawilgoceniu i nie dotykaj urządzeń mokrymi dłońmi; w razie potrzeby izoluj się od wilgotnego podłoża (np. sucha deska).
- Nie odłączaj przewodów ochronnych; regularnie weryfikuj ich stan.
- Nie używaj urządzeń prowizorycznych ani z uszkodzonymi wtykami /gniazdami/ przewodami; nie pozostawiaj włączonego sprzętu bez nadzoru.
- Pożary elektryczne gaś wyłącznie odpowiednimi gaśnicami (proszkowymi/CO₂) — nie używaj wody.
- Prace z podwyższenia prowadź na właściwych środkach (rusztowania, platformy); na drabinie nie wykonuj spawania, nie używaj elektronarzędzi prochowych i nie pracuj przy nieosłoniętych częściach wirujących.
- Nie ciągnij, nie skręcaj i nie nadwyrężaj kabli; unikaj kolizji z innymi mediami (węże, przewody).
- W czasie burzy unikaj kontaktu z metalowymi konstrukcjami, instalacjami i antenami.
- W strefach zagrożonych wybuchem używaj wyłącznie urządzeń o odpowiedniej klasie przeciwwybuchowej.
- Usuń biżuterię i luźne elementy garderoby; długie włosy zabezpiecz.

Nie dotykaj jednocześnie uziemionych elementów i części metalowych urządzeń (grzejniki centralnego ogrzewania, rury itp.) — w razie uszkodzenia izolacji grozi to przepływem prądu przez ciało ludzkie.

Ogólna wiedza na temat przyrządów pomiarowych

Regularna kontrola stanu urządzeń elektrycznych pozwala zapobiegać awariom i wypadkom oraz ogranicza skutki ich wystąpienia. Sprawdzenie poprawności działania polega na pomiarze wybranych parametrów elektrycznych i porównaniu ich z wartościami dopuszczalnymi określonymi w normach lub dokumentacji technicznej. Zakres i rodzaj pomiarów precyzują instrukcje badań, dokumentacja producentów urządzeń oraz przepisy dotyczące eksploatacji instalacji i sprzętu elektrycznego.

Przyrządy pomiarowe używane do kontroli i badań muszą być okresowo sprawdzane i wzorcowane zgodnie z wymaganiami prawnymi dotyczącymi legalizacji przyrządów pomiarowych. Do najczęściej wykonywanych pomiarów należą: napięcie, prąd, moc, częstotliwość, czas i rezystancja. W określonych przypadkach dokonuje się także pomiarów specyficznych, takich jak prędkość obrotowa silników, rezystancja uziemienia czy rejestracja przebiegów elektrycznych za pomocą oscyloskopów.

W przypadku eksploatacji urządzeń elektrycznych niskiego napięcia (0,4 kV) należy wykonywać profilaktyczne badania, obejmujące: pomiary rezystancji izolacji i uziemienia, sprawdzenie ciągłości przewodów ochronnych oraz próby działania zabezpieczeń przed skutkami zwarć odległych.

Podstawowe pojęcia pomiarowe

Pomiar polega na ustaleniu wartości określonej wielkości fizycznej za pomocą przyrządu pomiarowego. Wynik składa się z liczby i jednostki. Jeżeli wynik odczytywany jest ze skali przyrządu wskazówkowego – mamy do czynienia z pomiarem analogowym, natomiast w przypadku prezentacji wartości liczbowej na wyświetlaczu – z pomiarem cyfrowym.

Test to czynność techniczna, wykonywana według określonej procedury, mająca na celu ustalenie jednej lub kilku właściwości badanego obiektu. Diagnostyka oznacza okresowe lub doraźne sprawdzenie parametrów technicznych urządzenia w celu oceny jego stanu, przewidywania awarii oraz planowania działań konserwacyjnych lub naprawczych.

Dokładność pomiarów i błędy

Żaden przyrząd nie mierzy idealnie dokładnie – wyniki zawsze obarczone są błędem. Różnica między wartością zmierzoną a rzeczywistą to błąd bezwzględny. Jego stosunek do wartości rzeczywistej wyrażony w procentach to błąd względny.

Dokładność przyrządu określa się za pomocą błędu zredukowanego (normalizowanego), będącego stosunkiem błędu Δ do górnej granicy pomiaru przyrządu X_N , tj. $\gamma = (\Delta/X_N) \times 100$. Parametr ten określa klasę dokładności przyrządu, która podawana jest na jego obudowie lub w dokumentacji.

Zgodnie z normą EN 60051-1:2017 przyrządy analogowe przypisuje się do klas dokładności: 1, 2, 5, a także wartości pośrednich (np. 0,01; 0,1; 0,5; 1,5; 2,5; 3,0). Klasa dokładności wskazuje dopuszczalny błąd przyrządu w procentach, w normalnych warunkach pracy (temperatura, wilgotność, brak zakłóceń elektromagnetycznych itp.).

Przyrządy pomiarowe dzieli się na wzorcowe (służące do testowania innych urządzeń) oraz robocze, stosowane do codziennych pomiarów. Najdokładniejsze przyrządy (klasy 0,05–0,1) wykorzystywane są w laboratoriach, urządzenia o klasie 0,2–0,5 w badaniach kontrolnych, natomiast klasy 1,0–2,5 w typowych pomiarach technicznych. Przyrządy o klasie 4,0 stosuje się w celach dydaktycznych.

Podstawowa klasyfikacja przyrządów pomiarowych

Elektryczne przyrządy pomiarowe można podzielić według różnych kryteriów:

- **sposobu prezentacji odczytu:** analogowe i cyfrowe,
- **mierzonej wielkości:** np. amperomierze, woltomierze, omomierze, watomierze,
- **rodzaju prądu:** do pomiaru prądu stałego, przemiennego lub uniwersalne,
- **zasady działania mechanizmu pomiarowego:**
-

» magnetoelektryczne - oznaczenie



» elektromagnetyczne - oznaczenie



» indukcyjne - oznaczenie

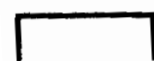


- **klasy dokładności,**
- **sposobu użytkowania:** stacjonarne, przenośne, tablicowe, na szynę DIN,
- **położenia roboczego:**

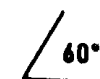
» magnetoelektryczne - oznaczenie



» elektromagnetyczne - oznaczenie



» indukcyjne - oznaczenie



W praktyce najczęściej stosuje się wielofunkcyjne przyrządy pomiarowe. Multimetry – czyli urządzenia mierzące prąd, napięcie i rezystancję – należą do grupy najbardziej rozpowszechnionych i wykorzystywane są zarówno w serwisie, jak i w edukacji. Popularnie nazywa się je testerami, ponieważ służą także do szybkiego sprawdzania ciągłości obwodów czy stanu ogniw.

Podział urządzeń cyfrowych

Na rynku dostępne są cyfrowe przyrządy pomiarowe o różnym stopniu zaawansowania. Można je podzielić na pięć głównych grup:

1. Najprostsze wskaźniki LED lub LCD, prezentujące wartość wejściową w postaci liczbowej.
2. Urządzenia do pomiaru podstawowych parametrów elektrycznych (napięcia, prądu, częstotliwości, mocy, fazy), często montowane w rozdzielnicach czy zasilaczach.
3. Mierniki parametrów fizycznych (temperatury, ciśnienia, poziomu), które przetwarzają sygnały z odpowiednich czujników.
4. Regulatory jedno- i wielokanałowe, służące do sterowania procesami technologicznymi.
5. Urządzenia mikroprocesorowe, takie jak przekaźniki czasowe, liczniki impulsów czy timery czasu rzeczywistego.

Dzięki tak szerokiemu wachlarzowi dostępnych urządzeń możliwe jest nie tylko bieżące kontrolowanie pracy instalacji i sprzętu, lecz także ich precyzyjna diagnostyka, co w praktyce przekłada się na bezpieczeństwo, niezawodność i oszczędności eksploatacyjne.

Wybrane pomiary specjalistyczne

Pomiar napięcia oraz natężenia prądu

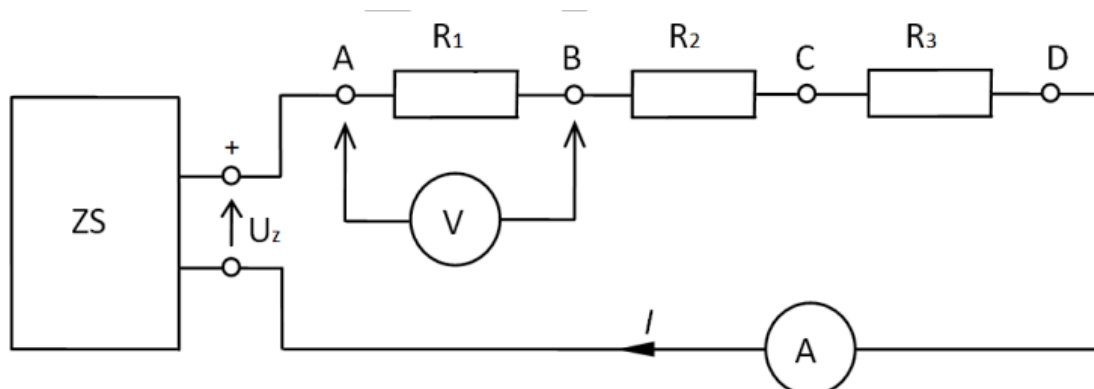
Pomiary prądu i napięcia należą do najczęściej wykonywanych pomiarów elektrycznych. W zależności od charakteru prądu (stały, przemienny), jego kształtu oraz częstotliwości, stosuje się różne metody i różne urządzenia pomiarowe.

Pomiar prądu

- Do pomiaru natężenia prądu stosuje się **amperomierze**.
- Skala amperomierza może być wyskalowana w μA , mA, A lub kA – w zależności od zakresu pomiarowego.
- Amperomierz podłącza się **szeregowo** do mierzonego obwodu (Rys. 1).
- Rezystancja wewnętrzna amperomierza jest **bardzo niska** w stosunku do rezystancji badanego obwodu, dzięki czemu przyrząd nie zakłóca przepływu prądu.
- W przypadku dużych prądów (rzędu setek amperów) stosuje się **przekładniki prądowe**, które umożliwiają bezpieczny pomiar.

Pomiar napięcia

- Do pomiaru napięcia stosuje się **woltomierze**.
- Woltomierz podłącza się **równolegle** do elementu lub fragmentu obwodu, którego napięcie jest mierzone (Rys. 1).
- Rezystancja wewnętrzna woltomierza jest **bardzo wysoka** w stosunku do rezystancji obwodu, dzięki czemu nie zmienia wartości napięcia mierzonego.



Rys.1. Schemat bezpośrednio podłączonego amperomierza i woltomierza

Rodzaje przyrządów do pomiaru AC

Do pomiaru prądu i napięcia przemiennego stosuje się różne układy pomiarowe:

1. Przyrządy elektromagnetyczne

- **Zalety:** prosta konstrukcja, niski koszt, możliwość pomiaru prądu stałego i przemiennego, odporność na przeciążenia.
- **Wady:** niska dokładność, nieliniowa skala, wrażliwość na zewnętrzne pola magnetyczne, większe zużycie energii.

2. Przyrządy magnetoelektryczne

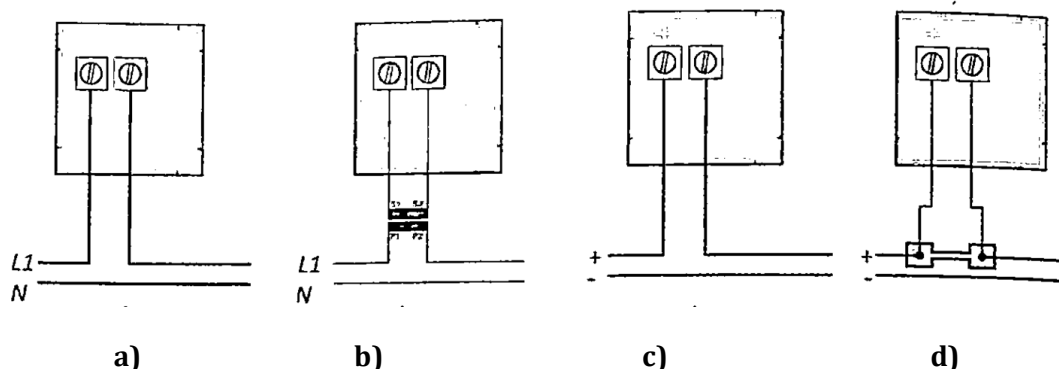
- **Zalety:** wysoka dokładność, skala liniowa, brak wpływu zewnętrznych pól magnetycznych na wskazania.
- **Wady:** bez dodatkowego prostownika nie można nimi mierzyć zarówno prądu stałego, jak i przemiennego; wyższa cena.

3. Przyrządy elektrodynamiczne i ferrodynamiczne

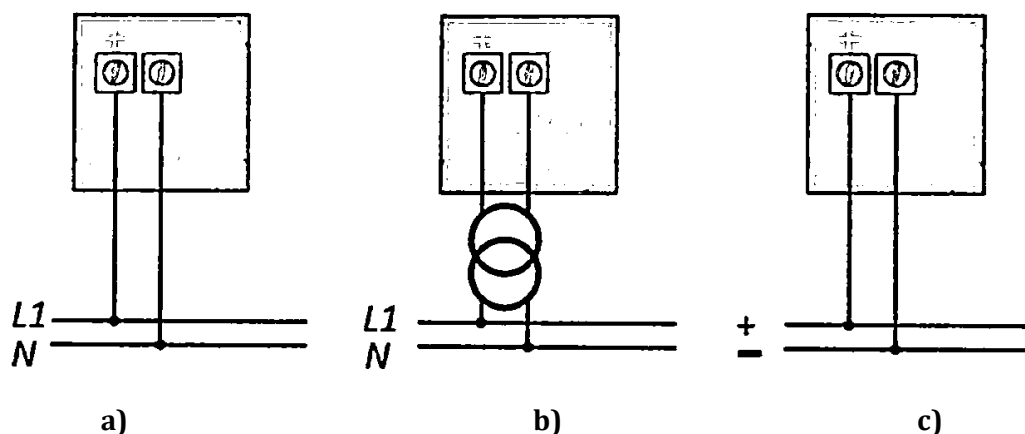
- Umożliwiają dokładne pomiary zarówno napięcia, jak i prądu przemiennego.
- Są uniwersalne, ale mniej popularne ze względu na gabaryty i koszty.
-

Zakres pracy i dokładność

- Amperomierze i woltomierze **magnetoelektryczne z ruchomym magnesem** umożliwiają pomiary zarówno w obwodach prądu stałego (DC), jak i w obwodach prądu przemiennego (AC) o częstotliwości **15–100 Hz**.
- Mierzą one **wartość skuteczną**, niezależnie od kształtu przebiegu napięcia lub prądu.
- Typowa **klasa dokładności** tych przyrządów wynosi **1,5**.
- Skala przyrządów może być **zmienna**, co pozwala na łatwiejsze odczyty.



Rys. 2. Schematy połączeń dla amperomierzy AC (a i b) i DC (c i d):
a, c - połączenie bezpośrednie; b - przez przekładnik prądowy; d - przez bocznik



Rys. 3. Schematy połączeń dla woltomierzy AC (a i b) i DC (c i d):
a, c - połączenie bezpośrednie; b - przez przekładnik napięciowy

Zadanie 1. Pomiary prądu i napięcia skutecznego (RMS) za pomocą przyrządów analogowych

Cel: Nauczyć się prawidłowego wykonywania pomiarów prądu i napięcia w obwodach elektrycznych przy użyciu przyrządów analogowych, z wykorzystaniem schematów połączeń amperomierzy i woltomierzy.

Opis sytuacji:

Masz do dyspozycji prosty obwód jednofazowy zasilany napięciem 230 V AC oraz zestaw przyrządów analogowych (amperomierz, woltomierz). Do pomiaru prądu i napięcia skutecznego (RMS) należy wykorzystać odpowiednie schematy połączeń przedstawione na **Rys. 2, Rys. 3**:

- amperomierz w połączeniu bezpośrednim (AC/DC),
- amperomierz w połączeniu z przekładnikiem prądowym (AC),
- amperomierz w połączeniu z bocznikiem (DC),
- woltomierz równoległy do obciążenia.

Twoje zadanie:

1. Podłącz **amperomierz** zgodnie ze schematem, stosując wariant:
 - a) połączenie bezpośrednie,
 - b) przez przekładnik prądowy (dla dużych prądów),
 - c) przez bocznik (dla obwodu DC).
2. Podłącz **woltomierz** równoległe do obciążenia.
3. Dokonaj odczytu wskazań obu przyrządów.
4. Oblicz wartości skuteczne (RMS) prądu i napięcia na podstawie odczytów.
5. Zastanów się, w jakich sytuacjach konieczne jest zastosowanie przekładnika prądowego lub bocznika.

Odpowiedź

Układ pomiarowy	Wskazanie amperomierza	Wskazanie woltomierza	Obliczona wartość RMS	Uzasadnienie wyboru metody
Połączenie bezpośrednie (AC/DC)				
Przez przekładnik prądowy (AC)				
Przez bocznik (DC)				

Efekt kształcenia:

- Kursant poprawnie dobiera metodę pomiaru prądu/napięcia (bezpośrednio, przez przekładnik prądowy, przez bocznik) do wartości mierzonych i rodzaju prądu (AC/DC).
- Kursant wykonuje połączenia zgodnie ze schematem z Rys. 14.3 (amperomierz szeregowo, woltomierz równolegle) z zachowaniem zasad BHP.
- Kursant odczytuje wskazania przyrządów analogowych oraz przelicza je z uwzględnieniem przekładni CT/bocznika i działki skali.
- Kursant oblicza wartości skuteczne (RMS) prądu i napięcia oraz weryfikuje poprawność obliczeń.
- Kursant interpretuje klasę dokładności przyrządów, szacuje błąd zredukowany i niepewność wyniku na poziomie podstawowym.
- Kursant rozpoznaje typowe błędy pomiarowe (złe wpięcie, nasycenie CT, zbyt mała/duża rezystancja bocznika, przeciążenie przyrządu) i potrafi im zapobiegać.
- Kursant dobiera zakresy pomiarowe tak, by zapewnić bezpieczeństwo i czytelność odczytu (praca w górnej części skali).
- Kursant sporządza protokół z pomiarów (układ, warunki, przyrządy, wyniki, korekty, niepewność, wnioski).
- Kursant wyciąga wnioski dotyczące zasadności zastosowania CT/bocznika w zależności od spodziewanego prądu i rodzaju obwodu.
- Kursant komunikuje wyniki w formie tabelarycznej, z krótkim uzasadnieniem doboru metody.

Średni, efektywny, średni kwadratowy prąd lub napięcie

Jeżeli napięcie i prąd w obwodzie zmieniają się zgodnie z prawem sinusoidalnym, maksymalne wartości napięcia i prądu w okresie nazywane są **amplitudami** (oznaczane odpowiednio jako U_m , I_m albo U_{max} , I_{max}).

Wartość wielkości sinusoidalnej w dowolnym momencie nazywana jest **wartością chwilową** i oznaczana małymi literami (u, i, p).

Wartość średnia

Wartość średnia wielkości sinusoidalnej obliczana dla całego okresu wynosi zawsze **zero**. Dla połowy okresu wartość średnia prądu sinusoidalnego wynosi:

$$I_{sr} = 0,637 \cdot I_m$$

Analogicznie dla napięcia:

$$U_{sr} = 0,637 \cdot U_m$$

W praktyce ta wartość ma niewielkie zastosowanie i używana jest rzadko.

Wartość skuteczna (RMS)

Znacznie ważniejsza jest **wartość skuteczna (RMS – Root Mean Square)**, która określa taką wartość prądu stałego, jaka w tym samym oporze RRR wydzieli taką samą ilość ciepła, jak prąd przemienny w czasie jednego okresu.

Dla przebiegu sinusoidalnego:

$$I_{sr} = I_{RMS} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m$$

Na przykład dla napięcia sinusoidalnego w sieci energetycznej:

$$U_{sk} = 230V, U_m = 324V$$

Pomiar wartości skutecznych

Analogowe przyrządy pomiarowe (woltomierze i amperomierze elektromagnetyczne, elektrodynamiczne) zwykle pokazują właśnie **wartości skuteczne przebiegów sinusoidalnych**. Problem polega jednak na tym, że metoda obliczania RMS jest poprawna tylko wtedy, gdy przebieg ma kształt idealnej sinusoidy.

W rzeczywistości w sieciach energetycznych prądy i napięcia są często **zniekształcone przez obecność harmoniczných**. Wynika to m.in. z:

- pracy zasilaczy impulsowych w komputerach i urządzeniach RTV,
- regulacji prędkości obrotowej silników przez falowniki,
- elektronicznego sterowania oświetleniem,
- innych odbiorników nieliniowych.

Takie zniekształcenia mogą prowadzić do przegrzewania transformatorów, silników elektrycznych, nieprawidłowego działania zabezpieczeń i zakłóceń w pracy urządzeń.

True RMS (TRMS)

Aby poprawnie zmierzyć wartości skuteczne **przebiegów niesinusoidalnych**, należy używać przyrządów cyfrowych z funkcją **True RMS (TRMS)**. Mierzą one rzeczywistą wartość skuteczną dowolnego przebiegu okresowego (o kształcie innym niż sinusoida), w granicach zakresu pomiarowego urządzenia.

Multimetry

Multimetr (ang. multimeter) to połączone urządzenie pomiarowe, przystosowane do pomiaru różnych parametrów elementów obwodów elektrycznych, a często również elektronicznych. Występuje zarówno w wersji **przenośnej**, jak i **stacjonarnej**.

W zależności od konstrukcji multimetr może być:

- prostym urządzeniem do podstawowych pomiarów,
- rozbudowanym przyrządem laboratoryjnym o wielu dodatkowych funkcjach,
- wykonany w formie **cęgów prądowych** (do pomiaru dużych prądów bez rozłączania obwodu).
-

Rodzaje multimetrów

- **Cyfrowe** – obecnie najczęściej spotykane, wyposażone w wyświetlacz numeryczny lub graficzny, czasem dodatkowo ze skalą analogową (tzw. bargraf).
- **Analogowe (wskaźnikowe)** – często nazywane testerami. Stosowane są rzadziej, ale wciąż użyteczne np. przy obserwacji dynamicznych zmian napięcia lub prądu.

Zakres pomiarów

Nowoczesne multimetry pozwalają na pomiar:

- napięcia i prądu **AC/DC**,
- rezystancji,
- pojemności i indukcyjności,
- częstotliwości (Hz i obr./min),
- temperatury (za pomocą czujnika wewnętrznego lub termopary zewnętrznej).

Wszystkie te funkcje dostępne są w jednym kompaktowym urządzeniu – użytkownik wybiera tylko odpowiedni tryb pracy.

True RMS

Niektóre multimetry poprawnie mierzą wartości tylko w przypadku **czystych przebiegów sinusoidalnych**. W rzeczywistych sieciach, gdzie występują **zniekształcenia harmoniczne**, takie przyrządy mogą podawać błędne wyniki. Dlatego do pomiarów w nowoczesnych instalacjach używa się multimetrów z funkcją **True RMS (TRMS)**, które mierzą rzeczywistą wartość skuteczną przebiegu, niezależnie od jego kształtu.

Dodatkowe funkcje i akcesoria

- pomiar rezystancji do 200 MΩ (z ograniczeniami – multimetry nie zastępują w pełni **megaomomierzy**, ponieważ korzystają z niskiego napięcia zasilania, np. 9 V),
- możliwość wyświetlania **przebiegu fali** na ekranie graficznym,
- akcesoria: przewody pomiarowe (elastyczne, izolowane końcówki), cęgi prądowe,



• (a)

(b)

• Rys. 4. Przykłady multimetrów cyfrowych (a) i analogowych (b)

Przed rozpoczęciem pomiarów należy zapoznać się z instrukcją, sprawdzić integralność izolacji obudowy multimetru, podłączenie przewodów i styczników. Multimetr nie może być używany w przypadku mechanicznego lub elektrycznego uszkodzenia tych elementów.

Obliczanie wartości wielkości mierzonej na podstawie wskazań miernika analogowego

Przyrządy pomiarowe są coraz bardziej zaawansowane technicznie. Większość z nich to minikomputery, które oprócz pomiaru wykonują wiele innych operacji. Jednak technik elektryk bądź elektronik może w swojej praktyce spotkać się jeszcze z miernikami analogowymi (wskazówkowymi). Dlatego jest ważne, aby umieć się nimi posługiwać, odczytywać ich wskazania, interpretować wyniki i dobierać zakresy pomiarowe. Ponadto poznanie zasady działania miernika wskazówkowego stanowi dobrą podbudowę do obsługi bardziej zaawansowanych technicznie przyrządów pomiarowych.

W przypadku mierników cyfrowych sprawa jest prosta - po podaniu sygnału na wyświetlaczu pokaże nam się wynik pomiaru. Nieco bardziej skomplikowana jest sytuacja w przypadku mierników analogowych. Przy dobranym zakresie pomiarowym po załączeniu napięcia wskazówka wychyli się poza połowę skali (ok. 2/3 skali) i wskaże jakąś wartość. Ale jaką? Aby ją wyznaczyć, należy najpierw określić tak zwaną stałą miernika C_x (C_y - woltomierz, C_w - watomierz itd.). Wskazuje ona, jaka część wielkości mierzonej przypada na jedną działkę podziałki miernika

$$C_x = \frac{X_n}{\alpha_{max}}$$

gdzie

α_{max} - maksymalne wychylenie (liczba działek na skali miernika). W przypadku watomierza mamy do czynienia z dwoma zakresami pomiarowymi (osobno wybiera się

zakres cewki prądowej i osobno cewki napięciowej)). Wiemy, że moc czynna prądu elektrycznego to iloczyn napięcia, prądu i współczynnika mocy

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

zatem stałą watomierza wyznacza się analogicznie

$$C_w = \frac{U_n \cdot I_n \cdot \cos\varphi}{\alpha_{max}}$$

U_n - zakres pomiarowy cewki napięciowej,

I_n - zakres pomiarowy cewki prądowej,

$\cos\varphi$ - współczynnik mocy watomierza (podany na podzielnicy, zwykle równy 1).

Znając stałą miernika, wartość wielkości mierzonej wyznacza się z zależności

$$X = C_x \cdot \alpha$$

gdzie α - wychylenie wskazówki podczas pomiaru.

Zadanie 2. Obliczanie wartości wielkości mierzonej na podstawie wskazań miernika VOLTcraft VC-5081, CAT III 500 V 1544030

Cel: Celem zadania jest nabycie umiejętności wyznaczania stałej miernika wskazówkowego i na podstawie jej wartości oraz dobranego zakresu pomiarowego obliczanie wartości wielkości mierzonej.

Przebieg ćwiczenia

Rozwiąż poniższe zadania.

1. Dokonano pomiaru napięcia stałego woltomierzem analogowym na zakresie $U = 200$ V. Jakie było wskazanie miernika, skoro wskazówka wychyliła się o 75 działek, a podziałka miała 100 działek?
2. Amperomierz analogowy o 0,75 działkach na podziałce wychylił się o 0,6 działki. Stwierdzono, że odpowiada to prądowi o wartości 1,2 A. Na jakim zakresie pomiarowym został wykonany ten pomiar?
3. Watomierz o 200 działkach na skali wychylił się podczas pomiaru o 160 działek. Zakres prądowy był ustawiony na 0,5 A, a napięciowy na 100 V. Jaka była moc odbiornika?

4. Zakres prądowy watomierza ustawiono na 3 A. Skala watomierza miała 150 działek, a wskazówka wychyliła się o 100 działek. Stwierdzono, że jest to moc $P = 250 \text{ W}$. Na jaką wartość był nastawiony zakres napięciowy podczas tego pomiaru?

Odczytywanie wskazań miernika cyfrowego

Mierniki cyfrowe są budowane w oparciu o woltomierz cyfrowy napięcia stałego, który stanowi ich podstawowy element pomiarowy. Inne wielkości fizyczne, takie jak prąd, rezystancja czy temperatura, są najpierw przetwarzane na napięcie stałe – zazwyczaj w zakresie od 0 do 5 V.

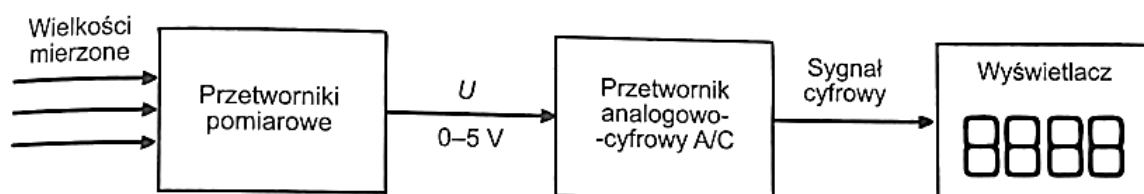
Do konwersji różnych wielkości mierzonych na sygnał napięciowy służą przetworniki pomiarowe. Są to specjalizowane układy elektroniczne, odpowiednie dla konkretnego rodzaju pomiaru, np.:

- dla prądu – układ pomiaru spadku napięcia na rezystorze bocznikowym,
- dla rezystancji – układ źródła prądowego i pomiar spadku napięcia,
- dla temperatury – układ pomiaru napięcia z czujnika półprzewodnikowego lub termopary.

Sygnał napięciowy z przetwornika pomiarowego trafia następnie do przetwornika analogowo-cyfrowego (A/C, ADC). Jest to skomplikowany układ elektroniczny (najczęściej w postaci scalonego układu specjalizowanego), którego zadaniem jest zamiana wartości analogowej (napięcia) na liczbę cyfrową proporcjonalną do mierzonej wielkości.

Ta liczba, po odpowiednim przeliczeniu i zeskalowaniu, jest prezentowana na wyświetlaczu miernika cyfrowego w postaci wyniku pomiaru.

Schemat blokowy miernika cyfrowego przedstawiono na Rysunku 5.



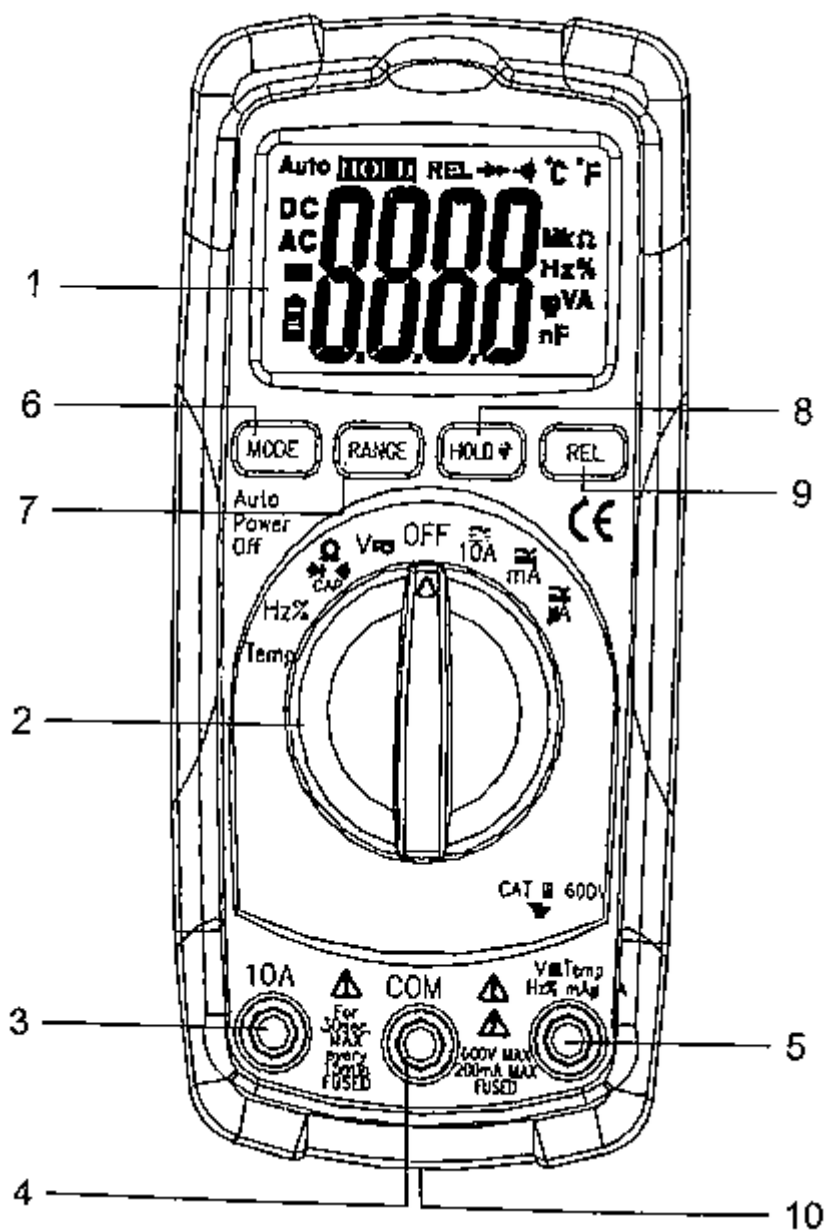
Rys. 5. Schemat blokowy miernika cyfrowego

Sygnał napięciowy z przetwornika pomiarowego trafia do przetwornika analogowo-cyfrowego. Przetworniki A/C są skomplikowanymi układami elektronicznymi (produkowane jako układy scalone) przetwarzającymi sygnał analogowy na liczbę, która

jest proporcjonalna do wielkości mierzonej. Odpowiednio zeskalowana lub przeliczona liczba jest reprezentowana na wyświetlaczu przyrządu cyfrowego. Liczba wielkości mierzonych zależy od liczby użytych przetworników pomiarowych w przyrządzie.

Opis funkcjonalny mierników cyfrowych

Obsługę mierników cyfrowych poznamy na przykładzie cyfrowych mierników uniwersalnych ze względu na to, że najczęściej będziemy się z nimi stykać w typowych pomiarach elektrycznych i elektronicznych. Mierniki uniwersalne są to urządzenia mające wewnętrzne zasilanie zazwyczaj z baterii, czasem z akumulatora. Przykładowy miernik uniwersalny przedstawiono na Rysunku 6.



Rys. 6. Widok przykładowego miernika cyfrowego uniwersalnego

1 - wyświetlacz LCD, 2 - obrotowy przełącznik funkcji pomiaru, 3 - gniazdo pomiarowe 10 A dla prądów stałych i przemiennych, 4- gniazdo pomiarowe COM wspólne dla wszystkich pomiarów, 5 - gniazdo pomiarowe dla pozostałych wielkości, 6 - przycisk MODE, zmieniający tryb pomiaru, jeżeli w danej pozycji przełącznika obrotowego 2 jest możliwe wykonanie pomiaru kilku wielkości fizycznych, np. AC/ DC lub Hz% cyklu roboczego i in., 7 - przycisk RANGE do ręcznej zmiany zakresu pomiarowego, 8 - przycisk HOLD do zatrzymania wyniku pomiaru na wyświetlaczu lub podświetlenia wyświetlacza, 9 - przycisk REL do pomiaru względnego, 10 - pokrywa pojemnika baterii

Multimetr cyfrowy posiada wiele funkcji, dzięki którym możliwe jest wykonywanie różnych pomiarów. Znajomość symboli i ustawień jest kluczowa, aby poprawnie i bezpiecznie wykonać pomiar.

Podstawowe funkcje pomiarowe

- **DCV (Direct Current Voltage)** – pomiar napięcia stałego
- **ACV (Alternating Current Voltage)** – pomiar napięcia przemiennego
- **DCA (Direct Current Amperage)** – pomiar prądu stałego
- **ACA (Alternating Current Amperage)** – pomiar prądu przemiennego

Gniazda pomiarowe

- **COM** – gniazdo wspólne (zawsze dla czarnego przewodu pomiarowego).
- **10A** – gniazdo do pomiaru dużych prądów (do 10 A, czerwony przewód).
- **mA** – gniazdo do pomiaru małych prądów (do 200 mA, czerwony przewód).
- **VΩ** – gniazdo do pomiaru napięcia, rezystancji i innych wielkości (czerwony przewód).
-

Funkcje dodatkowe

- **HOLD** – zatrzymanie wyniku pomiaru.
- **BACKLIGHT** – podświetlenie wyświetlacza LCD.
- **RANGE** – ręczny wybór zakresu pomiarowego.
- **MODE** – wybór trybu pracy (np. AC/DC).
- **REL** – pomiar względny (porównanie wartości do punktu odniesienia).
- **hFE** – pomiar parametrów tranzystora.
- **TEMP** – pomiar temperatury (z użyciem czujnika).
- **Symbol diody** – test diody i ciągłości obwodu.

Wyświetlacz miernika cyfrowego

Na wyświetlaczu multimetru (Rys. 4) kursant odczyta:

- **Wartość liczbowa** – cztery cyfry z przecinkiem dziesiętnym.
- **Jednostkę pomiarową** (V, A, Ω, °C, Hz).
- **Znak „-”** – wynik ujemny.
- **AC / DC** – informację o rodzaju pomiaru (przemienny/stały).
- **AUTO** – automatyczny wybór zakresu pomiarowego.
- **HOLD** – aktywna funkcja zatrzymania wyniku.
- **Ikona baterii** – niski poziom zasilania; pomiary w tym stanie są obarczone dużym błędem.

Zasady prawidłowej obsługi miernika cyfrowego

Przed rozpoczęciem pracy z miernikiem należy zawsze:

1. Sprawdzić **funkcje pomiarowe** dostępne w przyrządzie.
2. Zapoznać się z **dokładnością i niepewnością pomiaru** dla wybranych zakresów.
3. Upewnić się, że **przewody pomiarowe** są poprawnie podłączone.
4. Właściwie ustawić **parametry pomiarowe** (rodzaj sygnału, zakres).
5. Przestrzegać zasad **bezpiecznego użytkowania**, zgodnie z instrukcją obsługi i normami BHP.

Zadanie 3. Odczytywanie wskazań miernika cyfrowego Sonel CMM-40

Cel: Celem zadania jest nabycie umiejętności posługiwania się miernikiem cyfrowym.

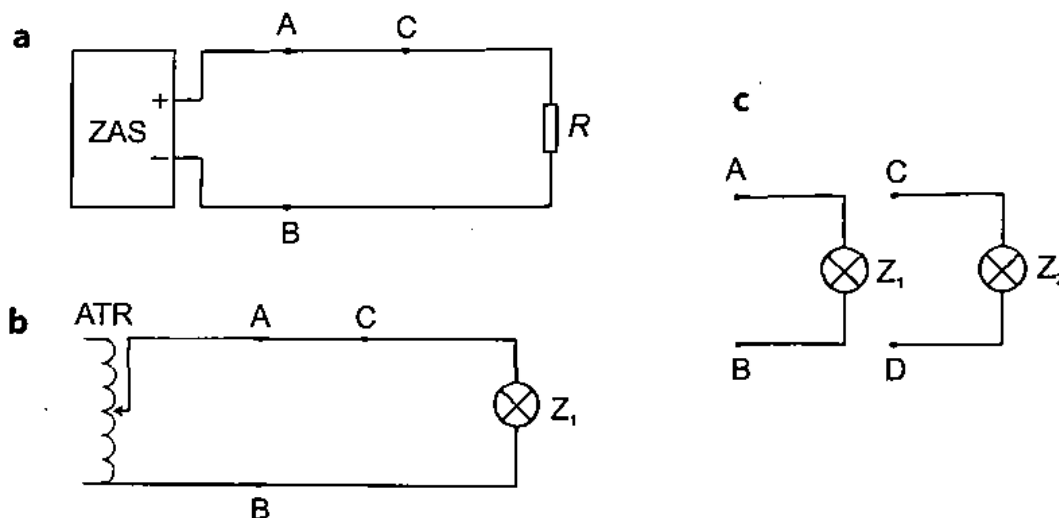
Przebieg ćwiczenia

1. Zapoznaj się z instrukcją obsługi multimetru wskazanego przez prowadzącego zajęcia.
2. Wymień pomiary, jakich możesz dokonać multimetrem, mając do dyspozycji zaciski napięcia zmiennego (sieciowego) oraz zaciski napięcia stałego.
3. Zaproponuj ustawienia parametrów miernika i sposoby pomiarowe do pkt. 2, wykonaj te pomiary i zanotuj wyniki.
4. Zapoznaj się ze schematami pomiarowymi na Rysunku 7. Zaproponuj ustawienia multimetru i włączenie go w obwód dla dokonania pomiarów:
 - prądu,
 - napięcia,
 - częstotliwości,
 - rezystancji,
 - sprawdzenia ciągłości obwodu.
5. Wymień, których pomiarów nie można wykonać w poszczególnych schematach z rysunku 1. Odpowiedź uzasadnij.
6. Dokonaj możliwych do wykonania pomiarów z pkt. 4 w poszczególnych układach pomiarowych z rysunku 1, po uprzednim sprawdzeniu połączenia układów przez prowadzącego.
7. Dokonaj pomiaru temperatury otoczenia w okolicy żarówki Z, (odległość sondy pomiarowej od żarówki w granicach od 1 do 3 cm) w układzie ze schematu 1b w następujących warunkach:
 - przy nieświecącej żarówce Z,
 - przy niskim napięciu zasilania ustawionym na ATR żarówka żarzy się w kolorze czerwono-żółtym,
 - przy pełnym świeceniu żarówki Z,.
8. Wyniki pomiarów przeprowadzonych w ćwiczeniu zanotuj w zaproponowanej tablicy pomiarowej.

Podsumowanie

W sprawozdaniu umieść wyniki pomiarów, schematy pomiarowe z zaproponowanym włączeniem miernika cyfrowego, opatrzone komentarzem zawierającym opis ustawień i

połączeń sond miernika. We wnioskach zamieść uzasadnienie pkt. 5 oraz zmiany temperatury w otoczeniu żarówki.



Rys. 7. Schematy do pomiarów z wykorzystaniem multimetru cyfrowego a - układ zasilany napięciem stałym, b - układ zasilany napięciem przemiennym, c - układ żarówek do połączenia szeregowego, równoległego oraz niezależnego, A, B, C, D - zaciski przyłączeniowe, R pierwsza oraz druga, ZAS - zasilacz napięcia stałego, ATR – autotransformator.

Cęgi prądowe

W praktyce codziennej pomiary prądów obciążeniowych wykonuje się przy użyciu **cęągów prądowych**, co pozwala na dokonanie odczytu **bez konieczności przerywania zasilania** badanego obwodu. Sama nazwa „cęgi” nawiązuje do sposobu działania tego urządzenia, natomiast określenie „prąd” wskazuje na podstawowy parametr, dla którego zostało ono stworzone.

Najprostsze konstrukcje cęągów przeznaczonych do pomiaru prądów przemiennych pracują na zasadzie **jednoprzewodowego transformatora prądowego**. W tym układzie **uzwojeniem pierwotnym** jest przewód bądź szyna, przez którą płynie mierzony prąd, natomiast **uzwojeniem wtórnym** jest cewka wielozwojowa, do której podłączony jest amperomierz. Całość umieszczona jest na rozłączanym rdzeniu magnetycznym. Aby objąć przewód lub szynę zbiorczą, wystarczy rozchylić rdzeń magnetyczny, otwierając cęgi za pomocą przycisku.

Przepływający w przewodzie prąd przemienny wytwarza **zmienny strumień magnetyczny** w rdzeniu, a ten indukuje napięcie w uzwojeniu wtórnym przekładnika. W efekcie w obwodzie wtórnym pojawia się prąd proporcjonalny do wartości prądu pierwotnego, który następnie rejestrowany jest przez miernik cęgowy.

Cęgi prądowe tworzą jedną z bardziej zróżnicowanych grup przyrządów pomiarowych. Klasyfikacja ich typów jest utrudniona, ponieważ istotne okazują się różne kryteria: **zakres pomiarowy, średnica obejmowanego przewodu, dokładność, przeznaczenie czy funkcjonalność**. Można je podzielić na następujące grupy:

- **Cęgi prądowe analogowe** – historycznie pierwsze rozwiązania, w których zastosowano przekładnik prądowy dla prądu przemiennego. Uzwojenie wtórne połączone z obwodem pomiarowym wskazywało wynik na wskaźniku wychyłowym.
- **Cęgi prądowe cyfrowe** – proste w obsłudze, wyposażone w wyświetlacz, jednak o ograniczonej dokładności.
- **Cęgi-multimetr** – posiadają szerszy zestaw funkcji i przycisków, możliwość zapisu wyników pomiarowych, a oprócz prądu mierzą także napięcie, rezystancję, częstotliwość, temperaturę, a w bardziej zaawansowanych modelach również moc, współczynnik mocy czy rezystancję izolacji.
- **Cęgi AC/DC** – dzięki zastosowaniu **czujnika Halla (hallotronu)** możliwy jest pomiar zarówno prądu przemiennego, jak i stałego. Był to znaczący przełom w rozwoju tej techniki pomiarowej.
- **Cęgi specjalistyczne** – np. cęgi do pomiaru prądów upływowych lub rezystancji uziemienia. Istnieją modele rozpoczynające pomiar już od wartości rzędu 0,5 mA.
- **Adaptory cęgowe** – stosowane głównie jako część bardziej rozbudowanych zestawów pomiarowych. Obejmują zarówno modele niskoprądowe (do ok. 30 A), jak i wysokoprądowe (nawet do 3000 A). Różnią się konstrukcją, średnicą otworu, parametrami wyjściowymi czy przeznaczeniem. Niektóre przenośne czujniki mogą być także używane w instalacjach stacjonarnych.

W przypadku pomiarów w ograniczonych przestrzeniach, np. wewnątrz szaf rozdzielczych, stosuje się czasami **łączniki o konstrukcji szczypcowej**. Ich wadą jest nieco niższa dokładność w porównaniu ze standardowymi cęgami, jednak dzięki nim można uzyskać dostęp do przewodów w trudnych warunkach. Alternatywą są również **elastyczne cewki Rogowskiego**, zdolne do pomiaru prądów zarówno przemiennych, jak i stałych. Wiele tego typu urządzeń posiada funkcję True RMS. Zastosowanie łączników pozwala uniknąć rozłączania obwodu. Należy jednak pamiętać, że korzystanie z adapterów nieprzystosowanych do danego miernika może generować znaczne błędy pomiarowe.

Zdecydowana większość cęgów projektowana jest z myślą o pracy w obwodach **prądu przemiennego**, choć na rynku dostępne są również modele **uniwersalne** (AC/DC). Poszczególne rozwiązania techniczne różnią się stopniem skomplikowania obwodów wewnętrznych, jednak **podstawowa zasada pomiaru i obsługi pozostaje podobna**.

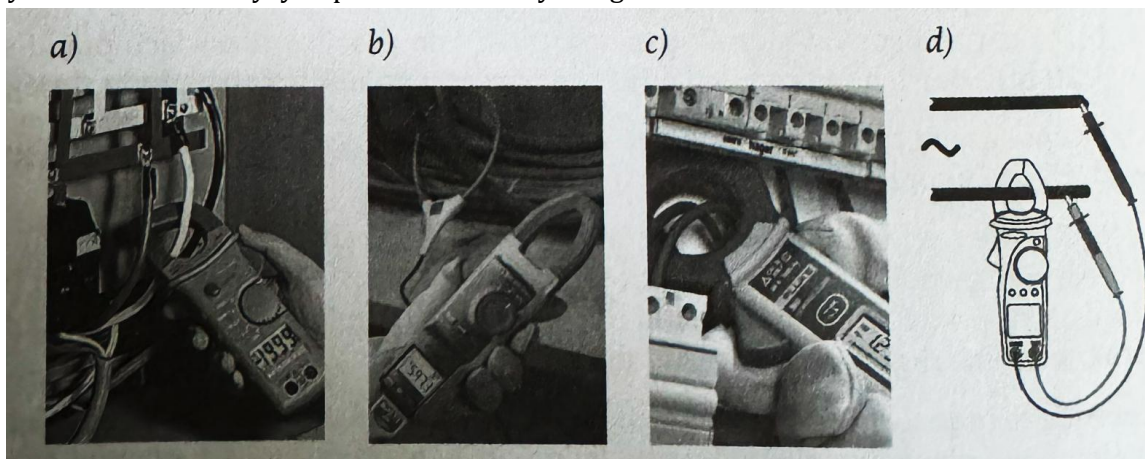
Aby dokonać poprawnego pomiaru prądu za pomocą cęgów, należy:

1. Ustawić urządzenie w odpowiednim trybie pracy (AC lub DC) i wybrać właściwy zakres. Jeśli wartość prądu nie jest znana, należy zacząć od maksymalnego zakresu.
2. Objąć pojedynczy przewód cęgami (rys. 3a) lub wszystkie przewody danej fazy adapterem (rys. 3b).
3. W celu zwiększenia dokładności ustawić cęgi pod kątem **90°** względem przewodu.
4. Odczytać wynik pomiaru z wyświetlacza.

Warto zaznaczyć, że **cyfrowe cęgi prądowe nie wymagają kalibracji**. Nie należy natomiast mierzyć prądu w kablu wielożyłowym obejmując wszystkie żyły naraz – wówczas indukowane pola magnetyczne wzajemnie się znoszą. Wyjątek stanowi pomiar prądów upływowych, gdzie obejmuje się cały przewód, aby uzyskać wynik różnicowy.

Przy zakupie **uniwersalnych cęgów prądowych** należy rozważyć, czy dodatkowe funkcje, takie jak test diod, kondensatorów czy tranzystorów, są rzeczywiście potrzebne, ponieważ te same zadania wykonuje klasyczny multimetr. Główne zadania stawiane cęgom prądowym to **pomiar prądu i napięcia (AC/DC)** oraz test ciągłości obwodu (najlepiej sygnałem akustycznym).

Podczas wykonywania pomiarów obowiązują zasady bezpieczeństwa: osoba obsługująca miernik powinna korzystać z **rękawic dielektrycznych** oraz stać na **izolacyjnej podstawie**, aby zminimalizować ryzyko porażenia elektrycznego.



Rys. 8. Przykłady pomiaru prądu i napięcia za pomocą cęg prądowych: a - pomiar prądu obciążenia; b - pomiar prądu obciążenia, gdy faza sieci składa się z kilku kabli; c - pomiar prądu upływu; d - pomiar napięcia za pomocą cęgów prądowych - multimetrów.

Zadanie 4. Pomiary prądu stałego i przemiennego miernikiem cęgowym RS PRO ICM30R

Cel:

- Zapoznanie się z budową i zasadą działania miernika cęgowego RS PRO ICM30R.
- Nabycie umiejętności bezpiecznego wykonywania pomiarów prądu AC i DC bez przerywania obwodu.
- Porównanie wartości prądu w różnych punktach instalacji oraz ocena zgodności z dokumentacją techniczną.
- Praktyczne utrwalenie zasad BHP podczas pomiarów.

Wyposażenie:

- Miernik cęgowy RS PRO ICM30R (lub równoważny)
- Przewody pomiarowe (w zestawie z miernikiem)
- Przewód zasilający lub fragment instalacji z obciążeniem (np. silnik, oprawa oświetleniowa)
- Zasilacz DC lub źródło napięcia stałego (np. akumulator)

- Przewody do obciążenia
- Obciążenie stałe (np. żarówka, rezystor mocy)
- Środki ochrony indywidualnej (rękawice elektroizolacyjne, okulary)

Przebieg ćwiczenia:

Krok 1: Przygotowanie stanowiska

- Sprawdź stan techniczny miernika, szczęk cęgowych i przewodów.
- Wybierz odpowiednią funkcję na przełączniku trybów (AC A / DC A).
- Sprawdź, czy miernik jest wyzerowany (w przypadku DC użyj funkcji "Zero").

Krok 2: Pomiar prądu stałego (DC)

- Podłącz zasilacz DC (np. 12V) do obciążenia (np. opornik 10Ω lub żarówka LED).
- Obejmij jednym ramieniem szczęk tylko jeden przewód (+ lub -).
- Zanotuj wartość prądu. Powtórz pomiar przy innym obciążeniu (np. zmiana rezystancji).

Krok 3: Pomiar prądu przemiennego (AC)

- Wybierz obciążenie zasilane z sieci (np. oprawa LED, wentylator, grzałka).
- Upewnij się, że prąd nie przekroczy zakresu 300 A.
- Zastosuj cęgi wokół tylko jednego przewodu fazowego.
- Zanotuj wartość prądu.

Krok 4: Pomiary porównawcze

- Porównaj pomiary z dokumentacją urządzenia (np. moc znamionowa).
- Oblicz teoretyczną wartość prądu ze wzoru:

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos\varphi}$$

Gdzie:

P – moc urządzenia [W],

U – napięcie zasilania [V],

$\cos\varphi$ – współczynnik mocy.\

Pomiary prądu stałego i przemiennego miernikiem cęgowym RS
PRO ICM30R

Data wykonania: _____

Punkt pomiarowy	Typ prądu	Obciążenie	Odczytany prąd [A]	Obliczony teoretycznie [A]	Uwagi
1	DC	Opornik 10Ω			
2	AC	Żarówka 60W			

Podpis: _____

Wskaźniki napięcia do 1000 V

Wskaźniki napięcia (ang. *voltage testers*) to przenośne przyrządy służące do sprawdzania obecności napięcia elektrycznego w instalacjach niskonapięciowych. Znajdują zastosowanie podczas prac konserwacyjnych, montażowych i serwisowych. Ich główną funkcją jest szybkie potwierdzenie lub wykluczenie obecności napięcia w badanym obwodzie przed przystąpieniem do pracy.

Zgodnie z zasadami BHP, każdorazowo przed rozpoczęciem czynności w instalacji elektrycznej należy sprawdzić brak napięcia, korzystając ze **sprawnego i przetestowanego wskaźnika napięcia**. W takim pomiarze nie chodzi o wyznaczenie dokładnej wartości napięcia – wystarczy jednoznaczne stwierdzenie jego obecności lub braku.

Wymogi dotyczące wskaźników napięcia

Każdy wskaźnik powinien być:

- **sprawdzony przed i po użyciu** (np. na znanym źródle napięcia),
- **zgodny z obowiązującymi normami** (np. PN-EN 61243-3 dla wskaźników dwubiegunowych),
- **stosowany zgodnie z instrukcją producenta**,
- **przechowywany i użytkowany w sposób chroniący przed uszkodzeniami mechanicznymi i wilgocią**.

Klasyfikacja wskaźników napięcia

Wskaźniki napięcia można klasyfikować według różnych kryteriów:

A. Ze względu na zakres napięcia:

- do 1000 V,
- powyżej 1000 V.

B. Ze względu na liczbę biegunów (dla wskaźników do 1000 V):

- jednobiegunowe,
- dwubiegunowe.

C. Ze względu na rodzaj prądu:

- do prądu zmiennego (AC),
- uniwersalne (AC/DC).

D. Ze względu na sposób wskazania:

- sygnał świetlny,
- sygnał świetlny + akustyczny,
- cyfrowe.

E. Ze względu na metodę określania obecności napięcia:

- bezkontaktowe (bez styku z elementem pod napięciem),
- stykowe (bezpośredni kontakt z częścią czynną),
- uniwersalne (łącznie obie metody).



Rys. 9. Widok ogólny niektórych wskaźników napięcia: jednobiegunowy z żarówką neonową; bezdotykowy oraz dwubiegunowy

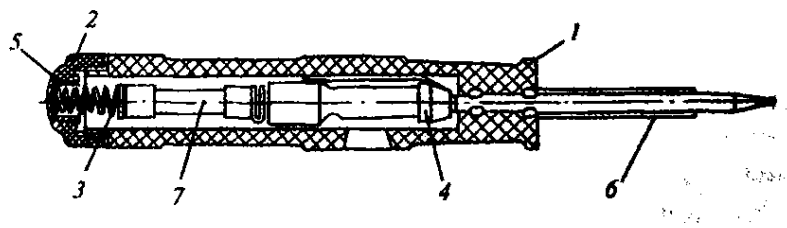
Istnieje wiele urządzeń wskazujących na obecność lub brak napięcia, od najprostszego wskaźnika napięcia z żarówką gazowo wyładowczą po urządzenia, które wskazują nie tylko obecność napięcia, ale także wiele innych parametrów.

Poniżej znajduje się krótki przegląd wskaźników napięcia powszechnie stosowanych w praktyce zarówno przez profesjonalnych elektryków, jak i majsterkowiczów.

Rodzaje wskaźników napięcia

A. Jednobiegunowy próbnik napięcia (wkrećak z neonówką)

Przeznaczony jest do wykrywania obecności napięcia w prostych obwodach wtórnych, a także do określania przewodu fazowego w gniazdach i wyłącznikach. Zasada działania opiera się na wykorzystaniu żarówki neonowej, która zaświeca się przy obecności napięcia.



Rys. 10. Budowa wkrętaka jednobiegunowego próbnika napięcia z żarówką neonową: 1 - przezroczysta obudowa; 2 - pokrywka; 3 - sprężyna; 4 - żarówka neonowa; 5 - końcówka kontaktowa; 6 - styk z rurką izolacyjną; 7 - rezystor

B. Bezdotykowy wskaźnik napięcia

Pozwala wykrywać napięcie w przewodach bez konieczności ich dotykania. Może również sygnalizować obecność przewodów pod napięciem ukrytych w ścianach. Urządzenie reaguje na pole elektromagnetyczne i informuje użytkownika za pomocą sygnału świetlnego oraz dźwiękowego. Typowy zakres działania mieści się od kilkudziesięciu do kilkuset woltów AC.



Rys. 11. Bezdotykowy wskaźnik napięcia

C. Wskaźnik z diodami LED i własnym zasilaniem

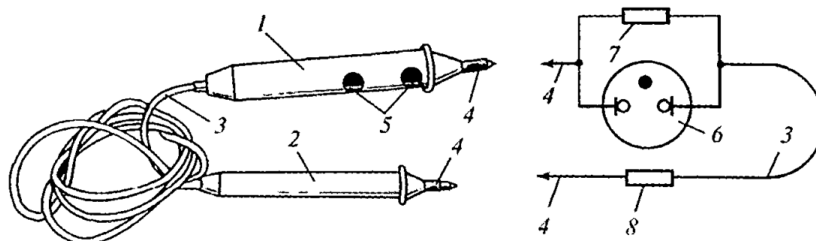
Dzięki zastosowaniu tranzystorów i diod LED jest dokładniejszy niż proste próbniki neonowe. Jego wadą jest konieczność okresowej wymiany baterii. Ponadto w pobliżu obcych pól elektromagnetycznych może dawać błędne wskazania, dlatego zawsze należy sprawdzać go przed użyciem.



Rys. 12. Wskaźnik z diodami LED i niezależnym zasilaniem

D. Dwubiegunowe wskaźniki napięcia

Służą do sprawdzania napięć AC i DC do 1000 V. Składają się z dwóch sond połączonych elastycznym przewodem. Żarówka neonowa lub diody LED zapalają się, gdy między sondami występuje różnica potencjałów powyżej 50 V. Dzięki wbudowanym rezystorom prąd płynący przez wskaźnik jest bardzo mały i bezpieczny.



Rys. 13. Dwubiegunowy wskaźnik napięcia i jego schemat: 1 - główny uchwyt; 2 - uchwyt pomocniczy; 3 - kabel połączeniowy; 4 - styk; 5 - wskaźnik świetlny; 6 - żarówka neonowa; 7 - rezystor obejściowy; 8 - dodatkowy rezystor

E. Dwubiegunowe wskaźniki napięcia z funkcją sprawdzania kolejności faz

Wyposażone są w dodatkowe funkcje: wskazują kolejność faz, biegunowość, a w niektórych modelach także umożliwiają sprawdzanie integralności obwodu czy testowanie urządzeń RCD. Mogą mieć wyświetlacz LCD lub zestaw diod LED, a także sygnalizację akustyczną. Wskaźniki tej klasy spełniają rygorystyczne normy bezpieczeństwa i są oznaczone kategoriami pomiarowymi CAT III lub CAT IV.



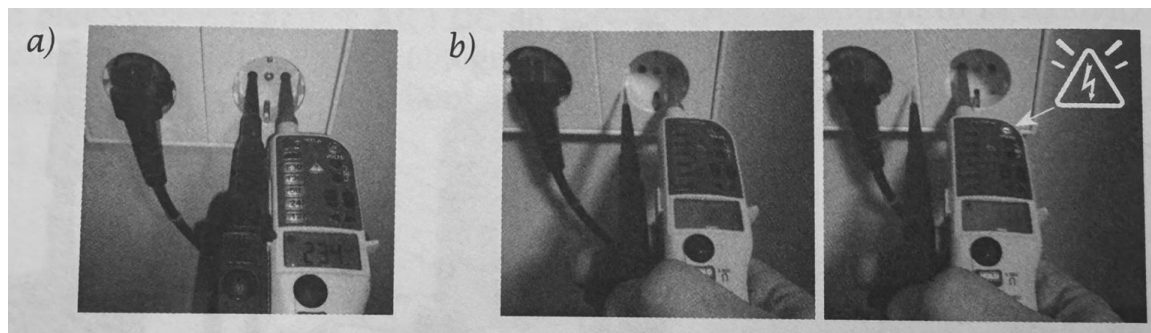
Rys. 14. Rozmieszczenie symboli związanych ze wskazaniem stanu na obudowie: 1 - wskazanie napięcia 12/24/50/120/230/400/690 V za pomocą wskaźników LED; 2 - sygnał dźwiękowy; 3 -

wskazanie kolejności faz L/R za pomocą LED; 4 – wskazanie testu obecności faz; 5 - wskazanie testu Rx (integralności) *; 6 - wskazanie biegunowości elektrycznej; 7 - ekran.

Zadaniem wskaźnika jest: pomiar napięć AC i DC, pokazywanie przeciwnych biegu-nów, pomiar jednym stycznikiem, sprawdzanie kolejności faz metodą dwubiegunową, pomiar bez elementu zasilającego, sprawdzanie integralności. Urządzenia mogą pracować w trybie cichym, posiadają wskaźniki rozładowania baterii i przepięcia. Niektórymi modelami wskaźników można sprawdzić urządzenia RCD.

Przed sprawdzeniem integralności obwodu należy upewnić się, że wskaźnik działa prawidłowo. W tym celu należy wcisnąć ze sobą styczniki - słyszalny jest sygnał dźwiękowy, na wyświetlaczu pojawia się .0°i/lub zapalają się wszystkie diody wskazujące na zamknięty obwód. Gdy napięcie baterii wskaźnika jest mniejsze niż $2,4\text{ V} + 0,1\text{ V}$, dioda LED Rx (i symbol baterii na wyświetlaczu) miga. Gdy dioda Rx miga, przy pomocy wskaźnika nie można wykonać żadnych innych pomiarów, z wyjątkiem pomiarów bez elementu zasilającego. Aby sprawdzić integralność, konieczne jest podłączenie styczników do obu końców badanego obwodu.

UWAGA: Integralność obwodu elektrycznego jest właściwością jakości obwodu mierzonej na podstawie jego rezystancji. Sprawdzenie integralności pokazuje, czy droga dla prądu w takim obwodzie jest ciągła, tj. czy obwód nie jest przerwany lub zwarty. Ta kontrola jest przydatna do ustalenia przyczyny, dla której obwód nie działa. Przed sprawdzeniem integralności obwodu elektrycznego należy najpierw upewnić się, że obwód jest wyłączony.



Rys. 15. Sprawdzenie napięcia w gniazdku: a - metoda dwóch styków; b - metoda jednego styku

Do określenia stanu napięcia np. w gniazdku można wykorzystać dwa (Rys. 15 a) lub jeden styk (Rys. 15 b). W pierwszym przypadku styki są opcjonalnie wkładane do styków gniazda. Wskaźnik AC zaświeci się, a diody LED wskażą poziom napięcia. Sygnał dźwiękowy pojawia się, gdy napięcie stanie się niższe lub wyższe od progowych. Podczas pomiaru napięcia DC, gdy styk L2 dotyka zacisku dodatniego lub ujemnego potencjału, lampka wskaźnika polaryzacji pokazuje „+ DC” lub „-DC”.

Pomiary za pomocą jednej sondy mogą jedynie wykazać w badanym obiekcie obecność lub brak napięcia. Za pomocą tej metody nie jest możliwe określenie poziomu napięcia. Ze względu na czynniki zewnętrzne, takie jak temperatura, wilgotność, pole magnetyczne, elektryczność statyczna i inne, wynik pomiaru przy pojedynczym styku może być niestabilny.

UWAGA. Szczegółowe informacje na temat pomiarów wykonanych przez przyrząd i ich kolejności można znaleźć w instrukcji konkretnego wskaźnika.

Zasady bezpieczeństwa dotyczące obsługi urządzeń elektrycznych zabraniają stosowania takich żarówek kontrolnych, ponieważ istnieje możliwość podłączenia żarówek do dwóch różnych faz (zamiast 230 V do 400 V) i z powodu jej eksplozji można się zranić.

Zasady bezpiecznego użytkowania wskaźników napięcia

Podczas pracy ze wskaźnikami obowiązują zasady:

1. Zawsze sprawdzaj wskaźnik na znanym źródle napięcia **przed i po użyciu**.
2. Nie używaj wskaźnika uszkodzonego lub niesprawdzonego.
3. Przestrzegaj **instrukcji producenta** i norm BHP.
4. Podczas pomiaru nie dotykaj **metalowych części sond**.
5. Potwierdzaj brak napięcia w obwodzie przed przystąpieniem do jakichkolwiek prac.

Zadanie 5. Sprawdzenie obecności napięcia w gniazdku 230 V AC z wskaźnikiem UNI-T UT15B i sporządzenie protokołu pomiarowego

Cel: Nauka bezpiecznego i poprawnego wykrywania napięcia w sieci 230 V AC za pomocą dwubiegunowego wskaźnika napięcia UNI-T UT15B oraz udokumentowanie wyniku w protokole.

Wyposażenie:

- Wskaźnik napięcia UNI-T UT15B
- Źródło napięcia – gniazdko 230 V AC
- Środki ochrony indywidualnej (rękawice dielektryczne, obuwie)

Instrukcja wykonania:

1. Sprawdź stan wizualny wskaźnika.
2. Wykonaj autotest wskaźnika.
3. Włóż sondy do gniazdko sieciowego.
4. Odczytaj wskazania.
5. Zdemonstuj sondy, wykonaj test kontrolny.
6. Wypełnij protokół.

PROTOKÓŁ SPRAWDZENIA OBECNOŚCI NAPIĘCIA – wskaźnik UNI-T UT15B

Data wykonania: _____

Punkt pomiarowy	Napięcie zmierzone (AC)	Obecność napięcia (TAK/NIE)	Uwagi
Gniazdo nr 1 (F/N)			
Gniazdo nr 1 (F/PE)			
Gniazdo nr 1 (N/PE)			

Wynik testu wskaźnika po pomiarze:

☐ sprawny

☐ niesprawny

Podpis: _____

Pomiar strumienia świetlnego

Badania naukowe od dawna potwierdzają, że zarówno zbyt słabe, jak i nadmiernie intensywne oświetlenie wywiera negatywny wpływ na organizm człowieka. Niewłaściwe światło nie tylko obciąża mózg, lecz także oddziałuje na inne narządy. Najnowsze analizy wskazują, że oświetlenie wpływa m.in. na **rytm serca** oraz **poziom insuliny we krwi**.

- **Niedostateczne oświetlenie:** prowadzi do spadku koncentracji, senności, bólu głowy, drażliwości oraz rozproszenia uwagi. Może obniżyć produktywność nawet o 20%, co w warunkach zawodowych przekłada się na straty ekonomiczne.
- **Zbyt jasne oświetlenie:** powoduje pobudzenie układu nerwowego, co zwiększa ryzyko wypadków i urazów oraz może obniżać zdolność do długotrwałej pracy.

Z kolei **odpowiednio zaprojektowane i dobrane oświetlenie** tworzy przyjazne środowisko pracy, sprzyja dobremu samopoczuciu pracowników, podnosi wydajność i ogranicza liczbę błędów.

Czynniki wpływające na poziom oświetlenia

Na efektywność oświetlenia w pomieszczeniu wpływają m.in.:

- konstrukcja i stan techniczny opraw,
- liczba oraz żywotność źródeł światła,
- ich rozmieszczenie,
- barwa ścian i sufitów,
- dostęp do światła dziennego.

Wymagania dotyczące oświetlenia

Poprawne oświetlenie powinno:

- zapewniać **odpowiednią ilość światła**,
- gwarantować **równomierne oświetlenie miejsca pracy**,
- utrzymywać **właściwy kontrast i barwę światła**,
- eliminować efekt migotania, olśnienia i powstawania ostrych cieni,
- racjonalnie kierować strumień świetlny, by nie oślepiać pracownika.

Niezależnie od rodzaju stanowiska, **prawidłowe oświetlenie jest niezbędne** do bezpiecznego dostrzegania, oceny i unikania zagrożeń.

Podstawowe pojęcia związane z oświetleniem

- **Natężenie oświetlenia (E)** – strumień świetlny padający na jednostkę powierzchni. Wyrażane w luksach (lx).
- **Oświetlenie** – sposób rozkładu energii świetlnej poprawiający widoczność obiektów.
- **Progowe natężenie oświetlenia** – poziom światła, przy którym praca przez dłuższy czas (do 40 godzin tygodniowo przez całą karierę zawodową) nie powoduje dyskomfortu wzrokowego ani pogorszenia zdrowia.
- **Współczynnik oświetlenia dziennego (DF)** – stosunek natężenia światła w danym punkcie pomieszczenia do natężenia światła na zewnątrz (w %). Określa, ile razy oświetlenie wewnętrzne jest mniejsze od zewnętrznego.

Normy oświetlenia (np. wg HN 98:2014) zależą przede wszystkim od **dokładności prac wzrokowych**, czyli od wielkości najmniejszego obiektu, który musi być dostrzegalny.

Wymagania mogą sięgać od kilkuset do kilku tysięcy luksów.

Pomiary oświetlenia

Do pomiaru natężenia światła stosuje się **luksonierze** (łac. *lux* – światło, gr. *metreō* – mierzę). Jest to specjalistyczne urządzenie fotometryczne, pozwalające określić poziom oświetlenia naturalnego i sztucznego.

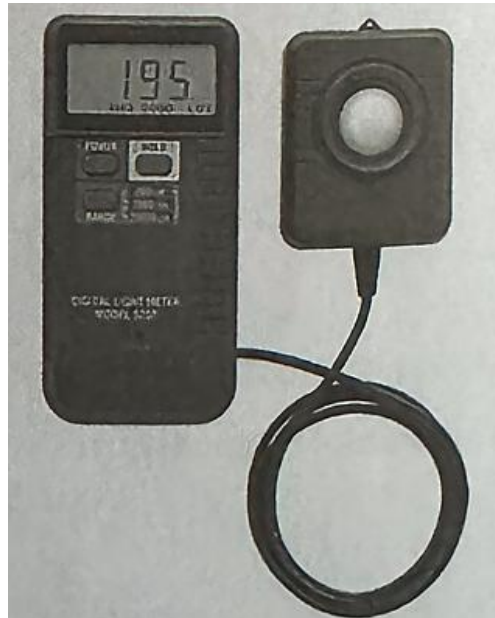
Najprostszy luksonierz składa się z:

- **fotokomórki** (odbiornika światła),
- układu rejestrującego prąd proporcjonalny do natężenia oświetlenia,
- wskaźnika (analogowego lub cyfrowego),
- zasilacza.

Fotokomórka przekształca światło w prąd elektryczny. Im większe oświetlenie, tym wyższy prąd w obwodzie pomiarowym. Nowoczesne luksonierze wyposażone są w **filtry**, które eliminują wpływ promieniowania podczerwonego i ultrafioletowego, zapewniając wysoką dokładność pomiaru.

Zasady pomiaru oświetlenia:

- pomiar należy wykonywać **w czasie rzeczywistej pracy** pracownika,
- czuły element luksonierza powinien znajdować się w **płaszczyźnie roboczej**,
- nie wolno zasłaniać strumienia światła podczas pomiaru,
- natężenie oświetlenia naturalnego i sztucznego mierzy się **oddzielnie**.



Rys. 16. Ogólny widok luksometru.

Ocena naturalnego oświetlenia (DF)

Wskaźnik **DF (Daylight Factor – współczynnik oświetlenia dziennego)** określa, jak efektywnie światło naturalne dociera do wnętrza pomieszczenia. Jego wartość mierzy się w charakterystycznych punktach:

- **Pomieszczenia robocze oświetlane z jednej strony** – minimalny DF określa się w punkcie przecięcia pionowej płaszczyzny typowej części pomieszczenia z powierzchnią roboczą, w odległości **1 m** od ściany najbardziej oddalonej od okna.
- **Pomieszczenia oświetlane światłem bocznym z obu stron** – punkt pomiaru znajduje się **w środku pomieszczenia**.
- **Obiekty przemysłowe z bocznym oświetleniem naturalnym** – minimalny DF wyznacza się w punkcie w odległości od **1,5 do 3 wysokości pomieszczenia od okien**, w zależności od kategorii prac wzrokowych.

Pomiar sztucznego oświetlenia

Pomiar sztucznego oświetlenia przeprowadza się:

- przy **włączonych wszystkich źródłach światła sztucznego**,
- przy **zasłoniętych źródłach światła dziennego lub po zmroku**.

Wymagania dotyczące przyrządów pomiarowych

- **Dokładność** – błąd pomiaru oświetlenia nie może przekraczać **10%**.

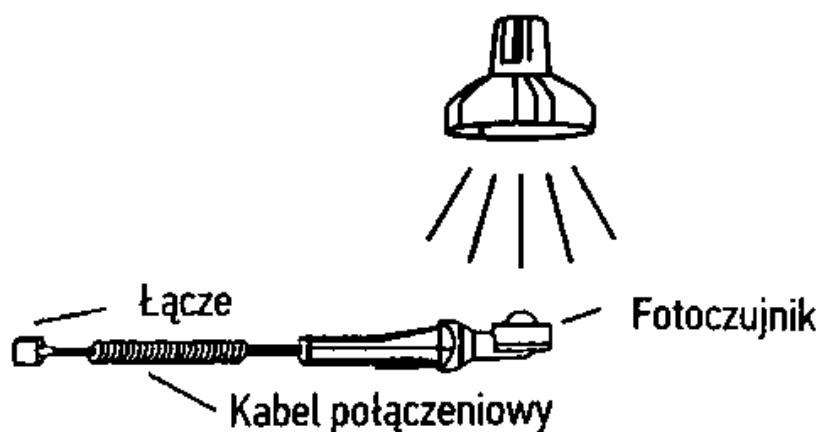
- **Legalizacja** – mierniki muszą być okresowo sprawdzane i używane zgodnie z instrukcją producenta.
- **Klasy przyrządów wg CEI:**
 - Klasa **A** – pomiary precyzyjne,
 - Klasa **B** – pomiary techniczne,
 - Klasa **C** – pomiary referencyjne.

Rodzaje luksomierzy

Luksomierze (światłomierze) mogą być stosowane zarówno w pomieszczeniach, jak i na zewnątrz. Klasyczny przyrząd składa się z **fotoczuownika** i **konwertera**, które mogą być wykonane jako monoblok lub w postaci modułów połączonych przewodem.

Podział ze względu na funkcjonalność:

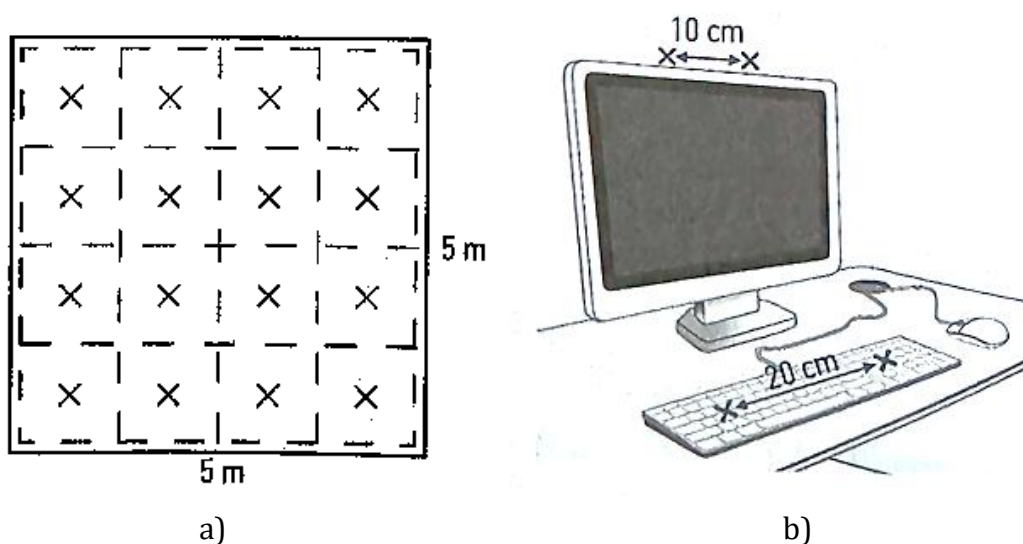
- **Luksomierze zwykłe** – proste modele, pokazują tylko bieżącą wartość natężenia oświetlenia. Wystarczające do szybkiej kontroli, ale charakteryzują się ograniczoną dokładnością.
- **Urządzenia wielofunkcyjne** – np. multimetry czy testery instalacji elektrycznych z funkcją pomiaru oświetlenia. Wymagają podłączenia osobnego czujnika światła (adaptera).
- **Profesjonalne światłomierze** – przyrządy o wysokiej dokładności, często umożliwiające automatyczne obliczanie wartości średnich na podstawie wielu pomiarów.



Rys. 17. Do urządzenia wielofunkcyjnego podłączane jest akcesorium do pomiaru światła

Profesjonalne luksomierze muszą mieć następujące cechy: dobór szybkości naświetlania, automatyczne wyłączanie zasilania, utrzymanie wyników pomiarów,

automatyczne ustawianie granic, ręczny i automatyczny tryb pracy, ustawienie maksymalnych i minimalnych wartości oświetlenia, rejestracja wartości maksymalnych, obliczenie średniego natężenia oświetlenia, równanie wyników pomiarów, obecność specjalnego oprogramowania, stabilna pamięć, wprowadzanie informacji do komputera, automatyczna kalibracja zera. Błąd pomiarowy - około 1%. Często profesjonalne światłomierze wyposażone są w dodatkowy sprzęt, który pozwala mierzyć inne właściwości strumienia świetlnego: luminancję oświetlanych obiektów, określają współczynnik pulsacji światła (migotania) ekranów komputerów, telefonów i innych urządzeń. Te mierniki pomagają wybrać na przykład lampę, której migotanie jest nieszkodliwe dla ludzkiego oka.



Rys. 18 a) Ogólny schemat pomiaru oświetlenia pomieszczenia, b) Punkty pomiaru oświetlenia na stanowisku pracy wideoterminala

Uwaga praktyczna

Światłomierz w smartfonie nie zastąpi luksomierza.

Wyniki uzyskiwane z aplikacji telefonicznych cechują się dużym błędem, którego wielkość zależy od modelu telefonu i warunków pomiaru. Liczne testy potwierdziły brak możliwości ich stosowania w profesjonalnych pomiarach.

Badanie jakości napięcia zasilającego

Celem ćwiczenia jest ocena jakości napięć zasilających w sieci publicznej niskiego napięcia poprzez rejestrację przebiegów napięciowych, analizę uzyskanych danych i porównanie wyników analizy z odpowiednimi wartościami dopuszczalnymi. Wykonujący ćwiczenia posiadają praktyczne umiejętności obsługi analizatora jakości energii PQM-700 firmy Sonel.

1 Zadanie do wykonania przed zajęciami praktycznymi

Analizator posiada szerokie możliwości parametryzacji pomiarów. W celu sprawnego przeprowadzenia programowania analizatora oraz analizy zarejestrowanych w czasie zajęć danych pomiarowych, zaleca się zapoznanie z instrukcją obsługi miernika PQM 700 oraz programu „Sonel Analiza”. Aktualna wersja instrukcji na stronie producenta www.sonel.pl.

2 Parametry badane i warunki pomiaru

Zgodnie z normą [1] i rozporządzeniem [3] ocena jakości napięć zasilających dla niskiego napięcia obejmuje parametry wymienione w tabeli 1. Szczegółowo algorytmy pomiaru podano w normie EN 61000-4-30 [3]

Tabela 1. Parametry napięcia, wartości dopuszczalne i metody pomiaru wg [1]

Lp.	Parametr	Wartości dopuszczalne	Sposób pomiaru/ Uwagi
1	Częstotliwość sieciowa	$\pm 0,1\%$ (49,9÷50,1)Hz dla 100% zbioru danych pomiarowych	Wartość średnia mierzona przez 10 sekund
2	Wartość napięcia zasilającego oraz zmiany napięcia	$\pm 10\% U_{ref}$ dla 99% zbioru danych pomiarowych $\pm 15\% U_{ref}$ dla 100% zbioru danych pomiarowych	10-minutowe uśrednione wartości skuteczne
3	Szybkie zmiany napięcia (flikery)	Krótkookresowy P_{st} i długookresowy P_{lt} współczynnik migotania światła $P_{lt} \leq 1$ dla 95% czasu pomiaru $P_{st} \leq 1$ nieznormalizowany	P_{st} obliczane z półokresowych wartości skutecznych. P_{lt} z 12 kolejnych P_{st}
4	Zapady napięcia zasilającego	Zdarzenia nieprzewidywalne głównie losowe.	Półokresowe wartości skuteczne
5	Krótkie i długie przerwy w zasilaniu	Zdarzenia losowe. Norma [1] wprowadza podział przerw na: - krótkie – do 3 min. - długie – przekraczające 3 min.	Półokresowe wartości skuteczne. Dopuszczalne wartości nie są znormalizowane
6	Przebiegi dorywcze i	Zdarzenie losowe	Półokresowe wartości skuteczne.

	przejściowe		Dopuszczalne wartości nie są znormalizowane
7	Asymetria napięcia zasilającego	$ku_2 \leq 2\%$ dla 95% zbioru danych pomiarowych	10-minutowe uśrednione wartości skuteczne
8	Harmoniczne napięcia	$THDU \leq 8\%$ dla 95% zbioru danych pomiarowych Szczegółowe wymagania dla poszczególnych harmoniczných n podano w tabeli	10-minutowe uśrednione wartości skuteczne, Metoda grupowania (Analiza Fouriera w oknie czasowym 10 okresów częstotliwości sieciowej (200 ms))

Tab. 2. Dopuszczalny poziom harmonicznych w napięciu

Nieparzyste harmoniczne nie będące krotnością 3		Nieparzyste harmoniczne będące krotnością 3		Parzyste harmoniczne	
Rząd n	Wartość harmoniczna Un [%]	Rząd n	Wartość harmoniczna Un [%]	Rząd n	Wartość harmoniczna Un [%]
	Wg normy PN-EN 50160:2010 Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.		Wg normy PN-EN 50160:2010 Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.		Wg normy PN-EN 50160:2010 Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,5	6 ... 24	0,5
13	3	21	0,5	>24	0,5
17	2	>21	0,5		
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				
>25	1,5				

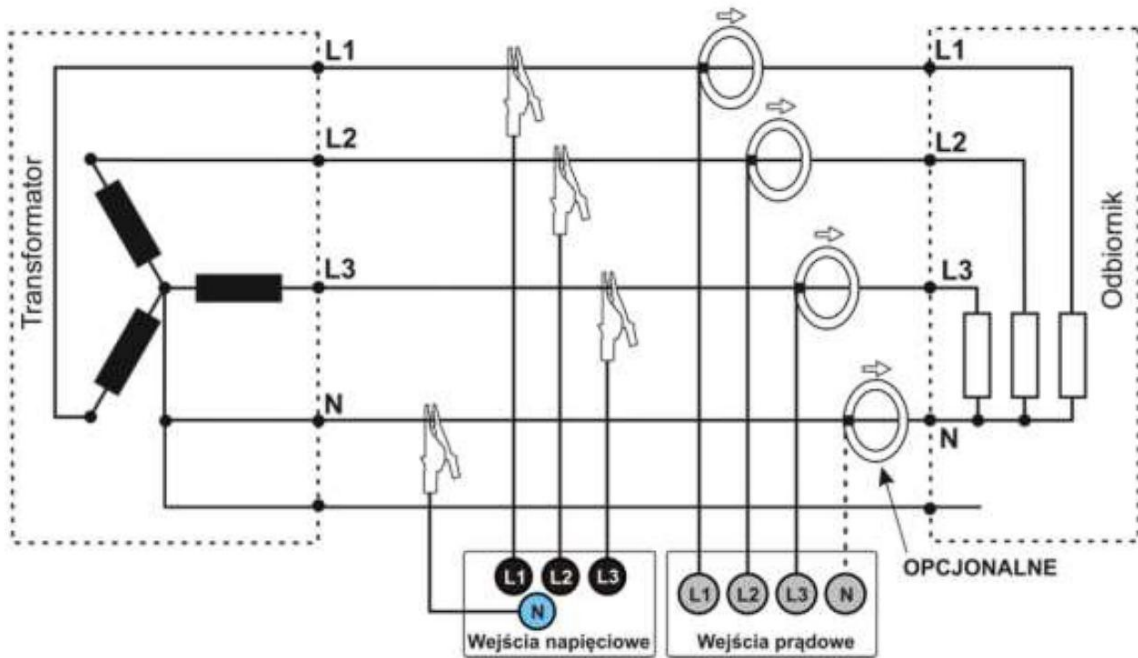
Podane limity udziału n-tej harmonicznej w napięciu odnoszą się do 95% zbioru danych pomiarowych zgodnie z Rozporządzeniem Systemowym **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.** oraz normą PN-EN 50160:2010 **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**, natomiast 100% zbioru danych pomiarowych według aktualizacji normy PN-EN 50160:2015 **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**

THDU ≤ 8% dla 95% zbioru danych pomiarowych wg Rozporządzenia Systemowego **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.** oraz normy PN-EN 50160:2010 **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**, natomiast dla 100% zbioru danych pomiarowych wg PN-EN 50160:2015 **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**

$$THDU = \sqrt{\sum_{n=2}^{40} \left(\frac{U_n}{U_1} \right)^2}$$

Przebieg ćwiczenia

Układ pomiarowy przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego [4]

Odbiornikiem energii jest obciążalnik RL o zmiennej konfiguracji. Analizator nie wymaga dodatkowego gniazda zasilania. Przewody zasilające (czerwone) podłączyć między zaciski N, a L1.

- 1 Połączyć układ według rysunku 2.
- 2 Połączenia wykonywać przy wyłączonej wtyczce.
- 3 Zaprogramować analizator wykorzystując oprogramowanie „sonel analysis”.
Wybrać właściwą konfigurację układu, typ cęgów prądowych i parametry znamionowe.
- 4 Uaktywnić rejestrację wszystkich możliwych parametrów i zdarzeń. Czas uśredniania ustawić na 3sekundy.
- 5 W okienku pomiarów bieżących sprawdzić prawidłowość połączenia.
- 6 W okienku „kontrola” uruchomić rejestrację.
- 7 W czasie aktywnej rejestracji wykonywać przełączenia konfiguracji odbiornika.

- 8 Zasymulować awarie podłączenia analizatora np. odłączyć przewód neutralny lub fazowy miernika.
- 9 Po kilkunastu minutach rejestracji zatrzymać rejestrację. Przejść do analizy po wcześniejszy odczycie danych. W czasie rejestracji możliwa jest praca w trybie „live” – odczyty bieżące.

Ocena jakości napięcia i analiza danych

Przedstawić końcową ocenę jakości napięć zasilających posługując się limitami z normy PN-EN 50160:2010. Zapoznać się z możliwościami przedstawiania danych pomiarowych (wykresy czasowe, histogramy) oraz zdarzeń.

Źródła opracowania:

1. **PN-EN 50160:2010** – Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych.
2. **PN-EN 50160:2015** – Aktualizacja normy dotyczącej parametrów napięcia zasilającego.
3. **Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r.** w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego (Dz. U. Nr 93, poz. 623).
4. **PN-EN 61000-4-30:2011** – Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów – Metody pomiaru jakości energii.
5. **Instrukcja obsługi analizatora jakości zasilania PQM-700** – Sonel, www.sonel.pl.
6. **Instrukcja obsługi programu „Sonel Analysis”** – Sonel, www.sonel.pl.
7. Drabatikas A. **Poradnik Elektryka**. Wydawnictwo KaBe.
8. Strzyżewski J. **Instalacje elektryczne**. Wydawnictwo Naukowe PWN.
9. Multimetr Brymen BM235 TRMS – egsystem-sklep.pl.
10. METRAHIT 2A Gossen Metrawatt – TME.pl.
11. Wskaźnik napięcia Sonel VT-3 – centrummiernictwa.pl.
12. Wskaźnik napięcia KS Tools – denios.pl.
13. Uniwersalny miernik cyfrowy Full Smart Pen – hoegert.com.