

**POLITECHNIKA**  **BIAŁOSTOCKA**

**WYDZIAŁ**  **INŻYNIERII  
ZARZĄDZANIA**

**KATEDRA ZARZĄDZANIA PRODUKCJĄ**

Instrukcja do zajęć laboratoryjnych z przedmiotu:

*Systemy pomiarowe*

Kod przedmiotu: **KS04515, KS04515**

**Ćwiczenie nr 1**

**POMIAR NAPIĘCIA (DC, AC, RMS)  
I PRĄDU**

O p r a c o w a ł :

dr inż. Arkadiusz Łukjaniuk

Białystok 2022

*Wszystkie prawa zastrzeżone.*

*Wszystkie nazwy handlowe i towarów występujące w niniejszej instrukcji są znakami towarowymi zastrzeżonymi lub nazwami zastrzeżonymi odpowiednich firm odnośnych właścicieli.*

**Cel ćwiczenia:** Nauczenie studentów posługiwania się przyrządami do pomiaru napięcia i prądu. Powinni oni wiedzieć w jakiej sytuacji zastosować mierniki DC, AC i RMS oraz jak uniknąć znacznego wpływu przyrządu na wielkość mierzoną.

## 1. WSTĘP

Napięcie jest różnicą potencjałów występujących między dwoma zaciskami obwodu elektrycznego. Obwody, w których dokonywany jest pomiar napięcia, mogą posiadać różną konfigurację i parametry. Pomiary napięcia (prądu) w obwodach należą do najczęściej spotykanych w praktyce pomiarowej. Zakresy typowych przyrządów pozwalają na pomiary bezpośrednie napięć od kilkudziesięciu miliwoltów do setek woltów. Przyłączenie przyrządu pomiarowego do badanego obwodu narusza stan energetyczny obwodu powodując w nim zmiany napięć i rozptyły prądów, a więc zmianę wartości mierzonej. Zmiana ta będzie tym mniejsza, im mniejszą moc będzie pobierał włączony do obwodu przyrząd. Skutkiem tego wskazania przyrządów w zauważalny sposób mogą być inne od wartości występujących przed ich włączeniem. Włączenie do obwodu przyrządu pomiarowego powoduje zmianę wartości wielkości mierzonej.

Moc pobierana przez woltomierz (amperomierz) zależy od rezystancji wewnętrznej woltomierza (amperomierza) i wynosi:

$$P_V = \frac{U_V^2}{R_V}; \quad P_A = R_A \cdot I_A^2 .$$

Zatem idealny woltomierz powinien mieć rezystancję  $R_V = \infty$ . Warunek ten jest bliski do spełnienia w woltomierzach cyfrowych. Woltomierze analogowe (wskazówkowe) posiadają relatywnie dużą wartość rezystancji wewnętrznej zależną od zakresu pomiarowego.

Planując pomiar, należy wybrać taką metodę oraz takie narzędzia pomiarowe, które w najmniejszym stopniu wpłyną na wynik pomiaru. Gdy

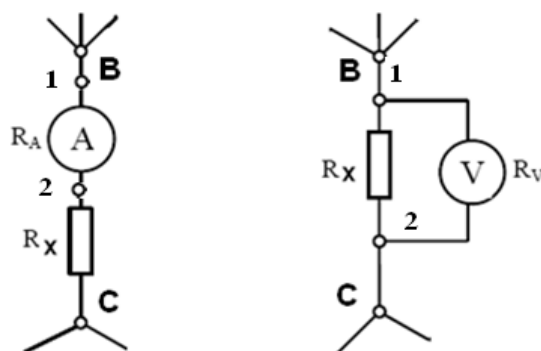
jednak jest to niemożliwe, należy spróbować ustalić wartość poprawki, jaka powinna być wniesiona do wyniku pomiaru.

Niekiedy celem pomiaru jest kontrola stanu wielkości mierzonej. Wystarczy wtedy, aby pomiar wykonywany był za każdym razem tym samym przyrządem, zawsze tak samo zniekształcającym stan kontrolowanej wielkości. Na przykład producenci sprzętu elektronicznego podają na schematach serwisowych swoich urządzeń wartości napięć, jakie powinny wystąpić w najważniejszych punktach obwodu sprawnego urządzenia. Jednocześnie podają wartość rezystancji wewnętrznej woltomierza, którym należy te napięcia mierzyć. Rezystancja wewnętrzna woltomierza przypadająca na jeden wolt zakresu pomiarowego, oznaczana jest grecką literą „kappa”, np.  $\chi = 1\ 000\ \Omega/V$ . Parametr ten pozwala obliczyć rezystancję wewnętrzną woltomierza dla każdego zakresu, w który jest on wyposażony.

Rezystancję wewnętrzną  $R_V$  oblicza się jako iloczyn zakresu pomiarowego  $U_n$  i rezystancji wewnętrznej jednostkowej  $\chi$ :

$$R_V = \chi U_n.$$

Najczęściej używanymi przyrządami pomiarowymi są amperomierze i woltomierze. Amperomierz włączany jest zawsze (lub prawie zawsze) szeregowo z gałęzią sieci, zaś woltomierz równoległe do gałęzi (rys.1).



Rys. 1. Typowe sposoby włączania podstawowych przyrządów pomiarowych.

Włączenie amperomierza powiększa rezystancję  $R_{BC}$  gałęzi, włączenie woltomierza zaś zmniejsza tę rezystancję (dla prostoty ograniczamy rozważania do obwodów prądu stałego). Jeżeli przed włączeniem amperomierza rezystancja gałęzi wynosiła  $R_X$ , to po włączeniu tego przyrządu będzie równa  $R_{BC}$ :

$$R_{BC} = R_X + R_A,$$

gdzie:  $R_A$  oznacza rezystancję wewnętrzną amperomierza.

Wpływ amperomierza na sieć będzie jak najmniejszy, tj.  $R_x \approx R_{BC}$ , wtedy gdy  $R_A \ll R_x$ . W przypadku woltomierza jest analogicznie: jeżeli przed jego włączeniem rezystancja gałęzi wynosiła  $R_x$ , to po włączeniu tego przyrządu wyniesie:

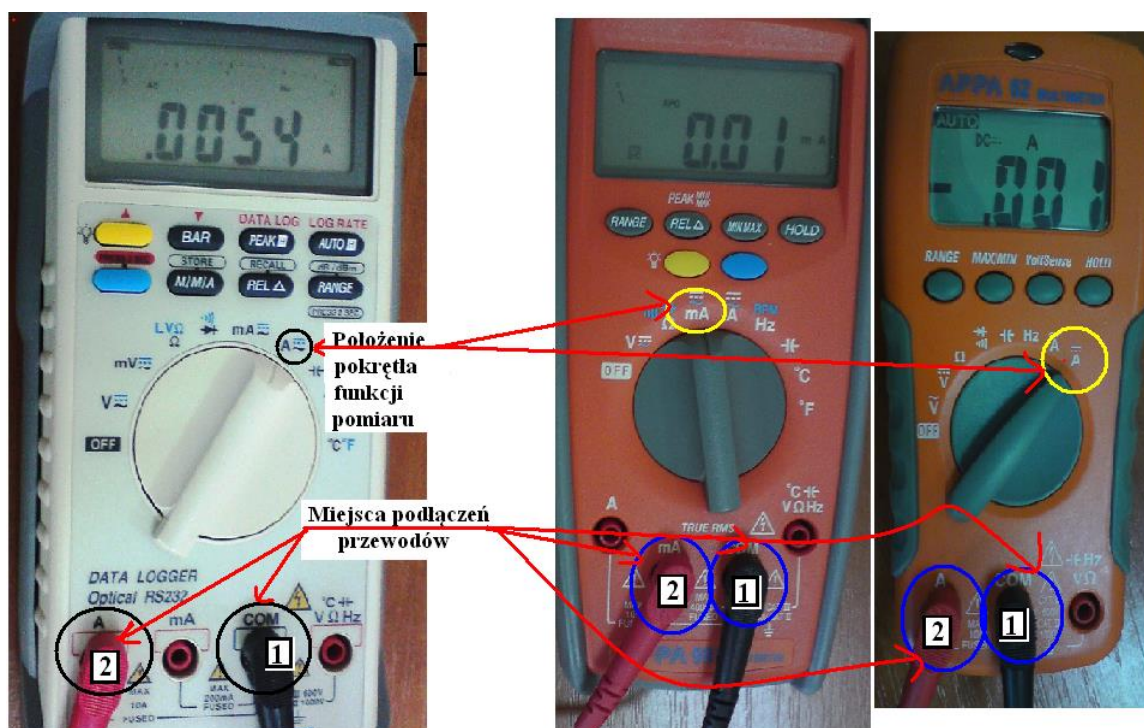
$$R_{BC} = \frac{R_x R_v}{R_x + R_v} = \frac{R_x}{\frac{R_x}{R_v} + 1}$$

Więc jeżeli chcemy, aby woltomierz jak najmniej zniekształcał stan mierzonej sieci, czyli aby  $R_{BC} \approx R_x$ , powinniśmy zadbać o spełnienie warunku:

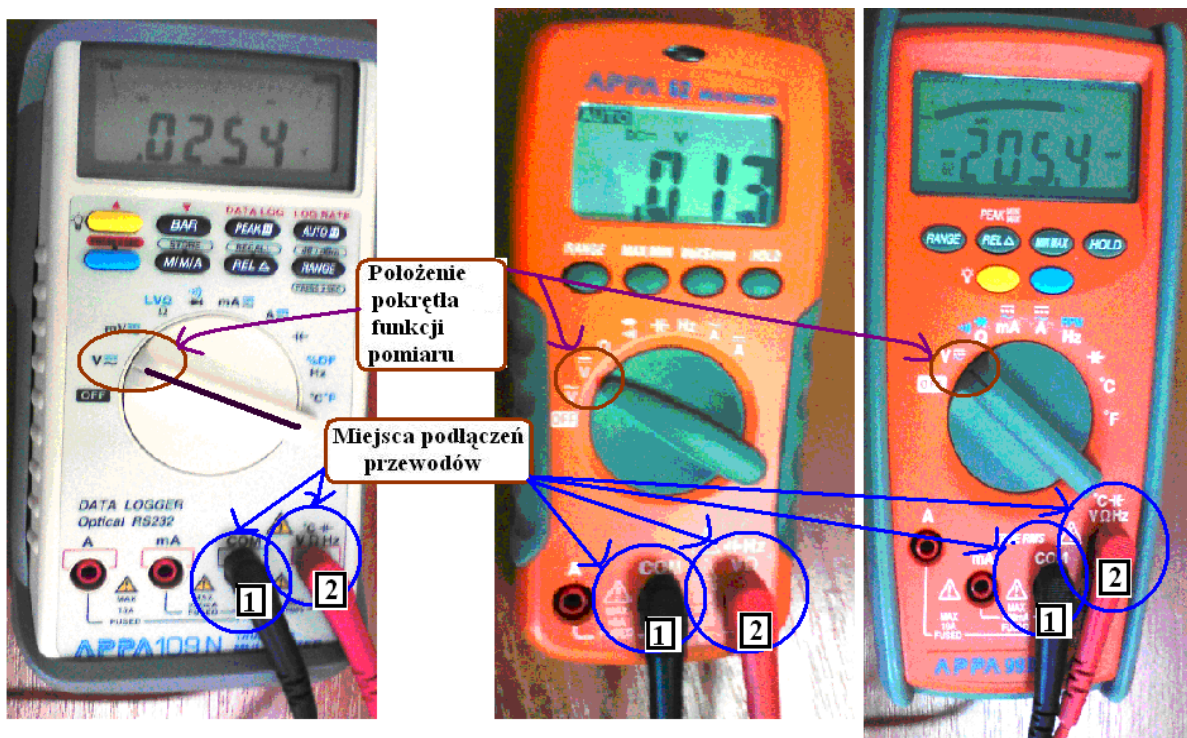
$$\frac{R_x}{R_v} \approx 0, \text{ tzn. aby } R_v \gg R_x.$$

Logicznym jest stwierdzenie, że zapewnienie, w trakcie pomiarów, niezmienności parametrów jednej gałęzi gwarantuje niezmiennosc stanu całej sieci.

Na rysunku 2 przedstawiony jest sposób włączania multimetrów cyfrowych wykorzystywanych do pomiaru prądu (punkty 1 i 2 odpowiadają miejscom podłączenia przyrządu pokazane na rysunku 1). Pokręta wyboru funkcji pomiarowej powinny być ustawione naprzeciw symbolu A lub mA.

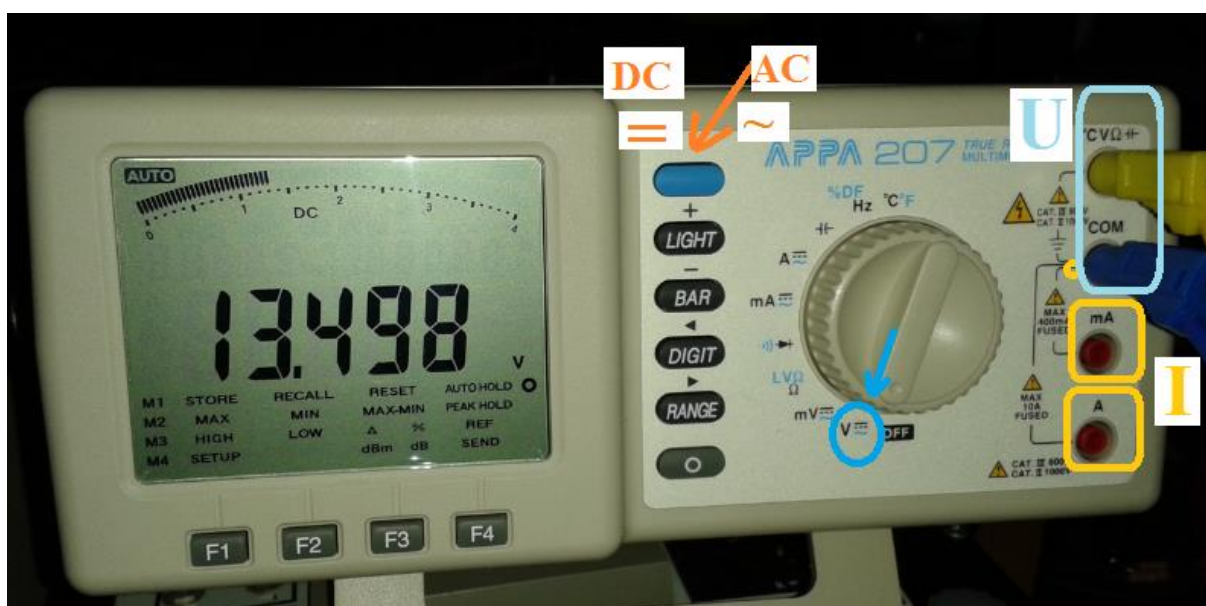


Rys. 2. Ilustracja miejsc podłączenia przewodów do multimetrów podczas pomiaru prądu.



Rys. 3. Ilustracja miejsc podłączeń przewodów do multimetrów podczas pomiaru napięcia.

Analogicznie jest pokazany sposób podłączenia multimetru podczas pomiaru napięcia (kółko pokazuje pozycję przełącznika funkcyjnego).



Rys. 4. Ilustracja miejsc podłączeń przewodów do multimetru APPA207 podczas pomiaru napięcia (niebieski przycisk służy do zmiany trybu pomiaru AC/DC, żółte prostokąty oznaczają miejsca podłączeń przewodów przy pomiarze prądu).

W praktyce spotykamy się z pomiarami napięć stałych (DC) i zmiennych (AC). Te ostatnie mogą być sinusoidalnie zmienne lub odkształcone.

W obwodach prądu stałego nie zawsze mamy do. Wynikiem właściwości obwodów lub też wpływu otoczenia, do stałych sygnałów pomiarowych dodają się sygnały zmienne, zwane zakłócającymi lub pasożytniczymi. Wtedy wskazania mierników prądu stałego mogą ulegać dużym zmianom - uniemożliwiającym dokładny odczyt.

Wrażliwość przyrządów prądu stałego na zakłócenia okresowe zależy przede wszystkim od rodzaju zastosowanych w nim przetworników. Przyrządy magnetoelektryczne i woltomierze ze wzmacniaczami prądu stałego, mając przetworniki wartości średniej, tłumią te sygnały w sposób zadawalający - jeżeli tylko nie mają zbyt niskich częstotliwości. Przyrządy cyfrowe mogą znacznie reagować na składową zmienną w mierzonym napięciu. Najczęściej stosowane woltomierze cyfrowe są wyposażone w przetworniki całkujące, które w pełni eliminują zakłócenia o częstotliwości 50Hz lub jej wielokrotności. Jest to ich dużą zaletą, gdyż sygnały zakłócające o takich częstotliwościach wytwarza wszechobecna sieć elektroenergetyczna. Natomiast sygnały o innych częstotliwościach są tłumione w sposób ograniczony.

Przy pomiarze wartości skutecznej napięć zmiennych odbiegających kształtem od sinusoidy należy wybierać te mierniki, które mają funkcję TRUE RMS (z ang. TRUE **R**oot **M**ean **S**quare – prawdziwa wartość skuteczna) oraz zwracać uwagę na częstotliwość mierzonego przebiegu napięcia (każdy miernik posiada górną granicę częstotliwości, przy której jeszcze mierzy poprawnie). W przypadku, gdy przebieg ma kształt sinusoidy wartość skuteczna wyznaczana jest z zależności:

$$U_{SK} = \frac{U_{m1}}{\sqrt{2}}, \quad (1)$$

gdzie:  $U_{m1}$  – wartość maksymalna (amplituda) sinusoidy.

Sygnały odkształcone (np.: fala prostokątna, trójkątna, itp.) różnią się od sinusoidy i w zależności od swego kształtu zawierają większą lub mniejszą liczbę wyższych harmonicznnych. W tym przypadku wartość skuteczna wyznaczana jest ze wzoru:

$$U_{SK} = \sqrt{U_0^2 + \sum_{k=1}^n \left(\frac{U_{mk}}{\sqrt{2}}\right)^2}, \quad (2)$$

gdzie:  $U_0$ -wartość sygnału stałego;

$U_{mk}$  – wartość amplitudy k-tej harmoniki;

$n$ - liczba harmonicznnych wchodzących w skład sygnału odkształconego.

Przyrządy cyfrowe mierzące wartość TRUE RMS wykorzystują w swoim algorytmie pomiarowym zależność (2), natomiast pozostałe mierniki mają algorytm zbudowany na zależności (1). Logicznym więc jest, że ich wskazania będą identyczne tylko w przypadku przebiegów sinusoidalnych.

## 2. BŁĘDY POMIARÓW WYKONYWANYCH PRZYRZĄDAMI WSKAZÓWKOWYMI

Błąd pomiaru dokonanego pojedynczym przyrządem wskazówkowym składa się z:

- błędu podstawowego wskazań;
- błędu dodatkowego wskazań;
- błędu odczytu.

### 2.1. Błąd podstawowy

Błąd podstawowy wskazań przyrządu wynika z niedokładności wykonania jego elementów składowych w procesie wytwórczym. Jest określony przez producenta za pomocą klasy dokładności. Jej wartość określa maksymalny błąd graniczny:

$$k \approx |\delta|_{\max} = \frac{|\Delta_{\max}|}{Z_p} \cdot 100\%.$$

Znając wartość klasy dokładności i zakres pomiarowy  $Z_p$ , możemy wyznaczyć maksymalny błąd wskazań:

$$\Delta_{\max} = \frac{k}{100\%} \cdot Z_p. \quad (3)$$

Pomiary należy przeprowadzać przy możliwie jak największym odchyleniu wskazówki przyrządu, co osiąga się przez wybór odpowiedniego zakresu pomiarowego przyrządu jak najbardziej zbliżonego do wartości wielkości mierzonej.



## 2.2. Błąd dodatkowy (podawany przez producenta)

Błąd ten związany jest z przekroczeniem podczas pomiaru znamionowych warunków pracy przyrządu. Znamionowe warunki określone są przez następujące parametry.

- temperaturę otoczenia (np.  $+10^{\circ}\text{C} \div +30^{\circ}\text{C}$ );
- wilgotność powietrza (np. do 85%);
- natężenie obcych pól magnetycznych (np. do 5 Oe);
- częstotliwość znamionową (np. 50 Hz) lub przedział dopuszczalnych częstotliwości (np. 20-50-400 Hz);
- współczynnik zawartości harmoniczných, charakteryzujący stopień odkształcenia od sinusoidy krzywej napięcia lub prądu (np.  $h \leq 5\%$ );
- sposób położenia przyrządu podczas pracy (np. pionowe albo poziome, albo pod określonym kątem, np.  $30^{\circ}$ ).

Błąd dodatkowy (jeżeli występuje) powiększa wartość błędu wskazań przyrządu.

## 2.3. Błąd odczytu

Błąd ten wynika z niedokładnego oszacowania przez mierzącego położenia wskazówki przyrządu między dwiema sąsiednimi kreskami działowymi podziałki. Gdyby podczas pomiaru wskazówka spoczęła dokładnie na kresce działowej, co zdarza się bardzo rzadko, błąd odczytu należy przyjąć za równy zero.

**Bezwzględny błąd odczytu** dla przyrządu wskazówkowego o równomiernej podziałce (przypadek miernika laboratoryjnego) oblicza się według formuły (4):

$$|\Delta_{od}| = p \frac{Z_p}{d}, \quad (4)$$

gdzie:  $|\Delta_{od}|$  - bezwzględny błąd odczytu;

$Z_p$  - zakres pomiarów;

$d$  - liczba działek podziałki;

$p$  - współczynnik charakteryzujący zdolność rozdzielczą oka obserwatora ( $p=0,2$  – oko nieuzbrojone,  $p=0,1$  – okulary, lupa, itd.).

Na przykład, jeżeli woltomierz o zakresie pomiarowym  $Z_p = 75\text{ V}$  ma podziałkę równomierną liczącą 75 działek, to odległości między dowolnymi

dwiema sąsiednimi kreskami działowymi odpowiada różnica napięć  $75\text{V}/75=1\text{V}$ .  
Przyjmując współczynnik  $p = 0,1$  otrzymamy błąd odczytu:

$$|\Delta_{od}| = 0,1 \text{ V.}$$

## 2.4. Całkowity maksymalny (graniczny) błąd pomiaru

Całkowity maksymalny (graniczny) błąd pomiaru jest sumą błędów wskazań i błędów odczytu. Błędy te mogą mieć w ogóle przeciwne znaki i zredukować się częściowo lub nawet całkowicie. Znaki tych błędów nigdy nie są znane, dlatego przyjmuje się zawsze skrajnie niekorzystny przypadek i sumuje ich wartości bezwzględne.

**Bezwzględny maksymalny błąd pomiaru** dany jest wzorem (5);

$$|\Delta_{pm}| = |\Delta_{\max}| + |\Delta_{od}| = \left| \frac{k \cdot Z_p}{100\%} \right| + \left| p \frac{Z_p}{d} \right| = Z_p \left( \frac{k}{100\%} + \frac{p}{d} \right) \quad (5)$$

**Przykład 1.** Woltomierz laboratoryjny klasy 1 ( $k = 1\%$ ) ma podziałkę równomierną o 75 działkach ( $d = 75$ ) i zakres pomiarowy  $Z_p = 15 \text{ V}$ . Zmierzono jednocześnie dwa różne napięcia. Wartości zmierzonego napięcia wynoszą 5V i 10V. Należy obliczyć graniczne względne błędy zmierzonych obu napięć i zapisać wyniki pomiarów.

### Rozwiązanie

W celu wyznaczenia żadanego przedziału liczbowego obliczymy **graniczny błąd pomiaru** (wzór (5) – przyjmujemy  $p=0,1$ ):

$$\Delta_{gr} = Z_p \left( \frac{k}{100\%} + \frac{p}{d} \right) = 15\text{V} \left( \frac{1\%}{100\%} + \frac{0,1}{75} \right) = 0,15\text{V} + 0,02\text{V} = 0,17\text{V} \approx 0,2\text{V}$$

Zmierzone napięcia możemy zapisać w postaci:

$$U_1 = 5 \pm 0,2\text{V} \text{ i } U_2 = 10 \pm 0,2\text{V},$$

a wartości granicznych względnych błędów zmierzonych napięć wynoszą:

$$\delta_{gr1} = \frac{\Delta_{gr}}{10,0} \cdot 100\% = 2\%,$$

$$\delta_{gr2} = \frac{\Delta_{gr}}{5,0} \cdot 100\% = 4\%.$$

### 3. BŁĘDY POMIARÓW WYKONYWANYCH MIERNIKAMI CYFROWYMI

Dokładność cyfrowych przyrządów pomiarowych określana jest w sposób bardziej złożony niż elektrycznych mierników wskazówkowych. Nie istnieje tu pojęcie klasy dokładności, tak charakterystycznej dla przyrządów wskazówkowych. Poza tym brak jest jednolitego sposobu podawania przez różnych wytwórców granicznych błędów wskazań charakteryzujących dokładność ich wyrobów. Sposób określania błędów jest w dodatku różny dla poszczególnych funkcji pomiarowych w ramach tego samego przyrządu (np. inny dla pomiaru napięć stałych, a inny dla napięć zmiennych).

Należy dodać, że renomowane firmy produkujące aparaturę pomiarową najwyższej klasy podają wartości błędów wskazań swoich produktów, zastrzegając jednocześnie, że wartości te gwarantowane są tylko w określonym przedziale czasu (przeważnie 1 rok), po upływie którego powinny być ponownie poddane sprawdzeniu u wytwórcy.

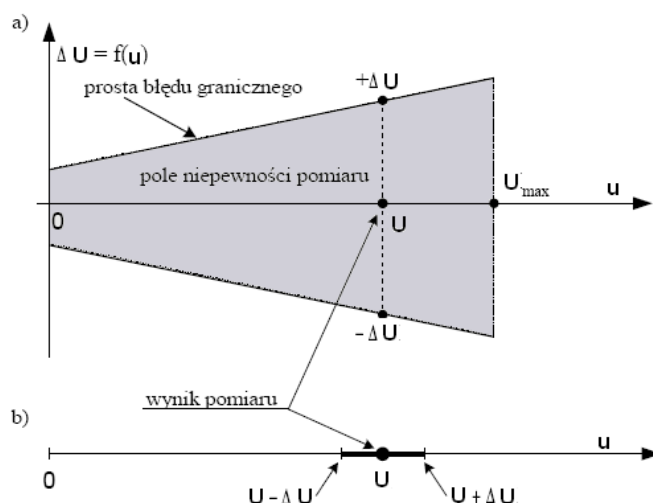
**Błąd graniczny  $\Delta U$  pomiaru napięcia przyrządem cyfrowym** jest sumą dwóch składników:

- **błądu multiplikatywnego  $\Delta p$** , podawanego zwykle w % i stanowi on ułamek wartości mierzonej  $U$  (ang. % of reading - % *rdg*). Może też się zdarzyć, że wytwórca podaje błąd w postaci (0,01% of range + 5D);
- **błądu addytywnego  $\Delta z$** - zależnego od zakresu przyrządu, na którym wykonuje się pomiar, wyrażonego w jednostkach wartości mierzonej.

Wartość składnika addytywnego jest podawana:

- często jako wielokrotność ziarna -  $n$  cyfr (znaków, ziaren), np. 3 dgt oznacza 3 ziarna;
- czasem jako ułamek (%) zakresu:  $\Delta z = \delta_z \cdot U_{zakr}$ .

Niżej zaprezentowano kilka charakterystycznych sposobów określania przez wytwórców, zarówno krajowych jak i zagranicznych niedokładności wskazań produkowanych przez nich multimetrów cyfrowych. Podane przykłady, powinny w dostatecznym stopniu wyjaśnić sposoby korzystania przez użytkowników z informacji podawanych w instrukcjach fabrycznych cyfrowych przyrządów pomiarowych.



Rys.5. Przedstawienie pojęć błędu granicznego dla przyrządów cyfrowych: a) zmiana wartości błędu granicznego w funkcji wartości mierzonej w zakresie od 0 do  $U_{\max}$ ; b) niedokładność pomiaru jako symetryczny przedział wokół wyniku pomiaru  $U$  ograniczony przez błąd graniczny [4]

### 3.1. Multimetry: APPA 62, APPA 99II, APPA 109N

#### Błąd pomiaru napięć DC i AC

W tabeli 1 przedstawione zostały parametry metrologiczne mierników używanych w tym ćwiczeniu. Wytwórca podaje w tym wypadku następującą informację (np. APPA 62 pomiar DC): **zakres 200 V, wartość ostatniej cyfry 100 mV i dokładność  $\pm(0,5\%wm+2c)$** . Wyrażenie w nawiasach rozszyfrowuje się następująco: 0,5% wartości mierzonej +2 cyfry. Oznacza to, że **graniczny (maksymalny) błąd bezwzględny wskazań  $\Delta U_X$**  wyraża się następująco:

$$\Delta U_X = \pm (0,5\% \text{ wartości mierzonej} + 2 \cdot 100 \text{mV}).$$

**Przykład 2.** Oblicz błąd graniczny, z jakim mierzone jest napięcie  $U_X = 23,0 \text{ V}$  na zakresie pomiarowym  $U_n = 200,0 \text{ V}$  (miernik APPA 62).

**Rozwiązanie:**

$$\Delta U_X = \pm (0,5\% \cdot 23,0 \text{V} + 2 \cdot 100 \text{ mV}) = \pm (0,115 \text{V} \pm 0,2 \text{V}) = \pm 0,315 \text{V}$$

Założono tu skrajnie niekorzystny przypadek, gdy oba składniki błędu mają ten sam znak.

Znajomość tego błędu pozwala na określenie przedziału, w którym z wysoką ufnością ( $p=0,9973$ ,  $k_p=3$ ) zawiera się wartość rzeczywista mierzonego napięcia.

Niepewność rozszerzona wyniesie (przy  $k_p=3$ ):

$$U(\widehat{U}_X) \approx \sqrt{3} \Delta U_X = 0,546 \approx 0,6 \text{V}, \quad (6)$$

a zapis wyniku pomiaru:  $U_X = U_X \pm \sqrt{3} \Delta U_X = (23,0 \pm 0,6) \text{V}$ .

Tabela 1. Parametry metrologiczne multimetrów (pomiar napięć DC/AC)

23°C±5°C < 80%RH	DC			AC		
	Zakres	Wartość ostatniej cyfry	Dokładność	Zakres	Wartość ostatniej cyfry	Dokładność
APPA 62	200,0 mV	0,1mV	±(0,5%wm+2c)	200,0 mV	0,1mV	±(1,5%wm+5c) (50Hz-300Hz)
	2,000 V	1 mV		2,000 V	1 mV	
	20,00 V	10 mV		60,00 V	10 mV	
	200,0 V	100 mV		600,0 V	100 mV	
	1000 V	1 V		750 V	1 V	
APPA 99II	400,0 mV	0,1mV	±(0,25%wm+5c)	400,0 mV	0,1mV	±(2,0%wm+8c) (50-60Hz)
	4,000 V	1 mV	±(0,4%wm+1c)	4,000 V	1 mV	±(1,3%wm+5c) (40Hz-1kHz) lub dla odczytu >50% zakresu ±(1,5%wm+5c) (500Hz-1kHz)
	40,00 V	10 mV	±(0,25%wm+1c)	40,00 V	10 mV	
	400,0 V	100 mV		400,0 V	100mV	
	1000 V	1 V		750 V	1 V	
APPA 17	3,000 V	1 mV	±(0,7%wm+2c)	3,000 V	1 mV	±(1,7%wm+5c) (40Hz-500Hz)
	30,00 V	10 mV		30,00 V	10 mV	
	300,0 V	100 mV		300,0 V	100 mV	
	600 V	1 V		600 V	1 V	
23°C±5°C < 80%RH	Zakres	Wartość ostatniej cyfry	Dokładność	Zakres	Wartość ostatniej cyfry	Dokładność
APPA 109N	20,00 mV	0,01mV	±(0,06%wm+60c)	20,00 mV	0,01mV	±(0,7%wm+80c) (40-100Hz)
	200,00 mV	0,01 mV	±(0,06%wm+20c)	200,0 mV	0,1mV	±(1,0%wm+80c) (100-1000Hz)
	2,000 V	1 mV	±(0,06%wm+10c)	2,000 V	1 mV	±(0,7%wm+50c) (40-100Hz) ±(1,0%wm+50c) (100-1000Hz)
	20,000 V	1 mV		20,00 V	10 mV	±(2,0%wm+60c) (1-10kHz) ±(3,0%wm+70c) (10-20kHz) ±(5,0%wm+80c) (20-50kHz) ±(10%wm+100c) (50-100kHz)
						200,0 V
1000,0 V	100 m V	750 V			±(0,7%wm+50c) (40-100Hz) ±(1,0%wm+50c) (100-1000Hz)	

Tabela 1. c.d. Parametry metrologiczne multimetrów (pomiar napięć DC/AC)						
DC				AC		
APPA 207	40 mV	wg wskazań przyrządu	$\pm (0,06\%+8c)$	400mV	wg wskazań przyrządu	$\pm(0,7\%w_m+5c)$ (40-100Hz) $\pm(1,0\%w_m+5c)$ (100-1000Hz)
				4V, 40V		$\pm(0,7\%w_m+5c)$ (40-100Hz) $\pm(1,0\%w_m+5c)$ (100-1000Hz) $\pm(2,0\%w_m+6c)$ (1-10kHz) $\pm(3,0\%w_m+7c)$ (10-20kHz) $\pm(5,0\%w_m+8c)$ (20-50kHz) $\pm(10,0\%w_m+10c)$ (50-100kHz)
	400mV		$\pm (0,06\%+2c)$	400V		$\pm(0,7\%w_m+5c)$ (40-100Hz) $\pm(1,0\%w_m+5c)$ (100-1000Hz) $\pm(2,0\%w_m+6c)$ (1-10kHz) $\pm(3,0\%w_m+7c)$ (10-20kHz) $\pm(5,0\%w_m+8c)$ (20-50kHz)
	4V, 40V, 400V, 1000V		$\pm (0,06\%+2c)$	750V		$\pm(0,7\%w_m+5c)$ (40-100Hz) $\pm(1,0\%w_m+5c)$ (100-1000Hz)

Tabela 2. Parametry metrologiczne multimetrów (pomiar prądów DC)

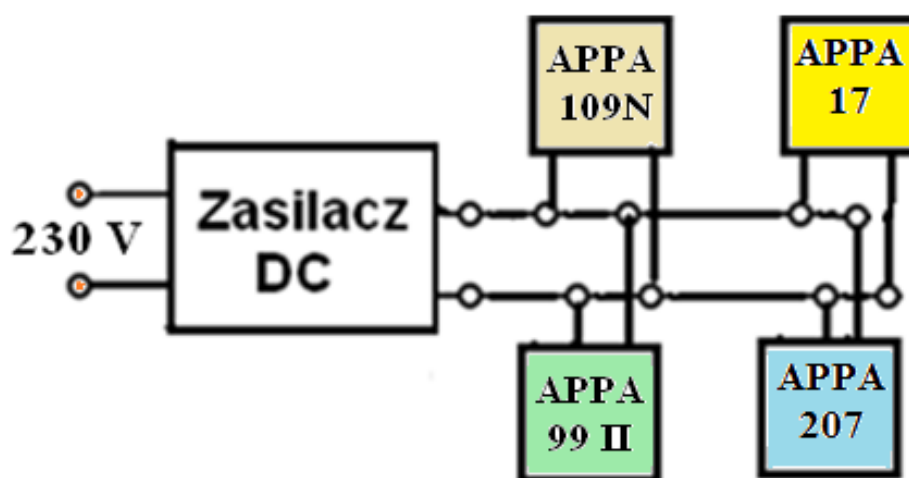
	DC		
	Zakres	Wartość ostatniej cyfry	Dokładność
APPA 62	2,000A	1mA	$\pm(1,0\%w_m+3c)$
	10,00A	10mA	
APPA 99II	40,00mA	10 $\mu$ A	$\pm(0,6\%w_m+2c)$
	400,0 mA	0,1 mA	$\pm(0,7\%w_m+2c)$
	10,00 A	10 mA	$\pm(1,0\%w_m+3c)$
APPA 109N	20,00 mA	0,01 mA	$\pm(0,2\%w_m+40c)$
	200,0 mA	0,1 mA	
	2,000 A	1 mA	
	10,00 A	10 mA	
APPA 207	40 mA, 400 mA	wg wskazań przyrządu	$\pm (0,2\%+4c)$
	4A, 10A		$\pm (0,2\%+4c)$

## 4. PRZEBIEG POMIARÓW

### 4.1. Pomiar napięć stałych DC

Połączyć układ pomiarowy zgodnie z rys.6. Wykonać pomiary napięć z zasilacza DC (wartości wskaże prowadzący ćwiczenie). Wyniki pomiarów zamieścić w tabeli 3.

**Uwaga!** Wartości  $\Delta U_{xi}$  i  $U_i$  ( $\Delta I_{xi}$  i  $I_i$ ) w tabelach 3,4,5 i 6 obliczyć zgodnie z przykładem 2 dla mierników cyfrowych



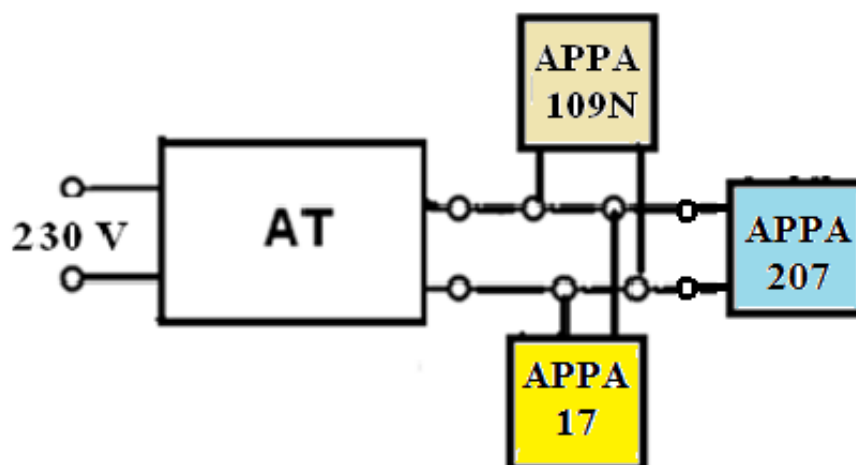
Rys. 6. Schemat połączeń do pomiaru napięć DC

Tabela 3.

	$U_{xi}$			$\Delta U_{xi}$			$U_i = U_{xi} \pm \sqrt{3} \Delta U_{xi}$		
	V			V			V		
Napięcie zasilacza				<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Multimetr APPA207									
Multimetr APPA99II									
Multimetr APPA109N									
Multimetr APPA 17									

## 4.2. Pomiar napięć AC (f=50 Hz)

Połączyć układ pomiarowy zgodnie z rys.7. Wykonać pomiary napięć z autotransformatora (wartości wskaże prowadzący ćwiczenie). Wyniki pomiarów zamieścić w tabeli 4.



Rys. 7. Schemat połączeń do pomiaru napięć AC

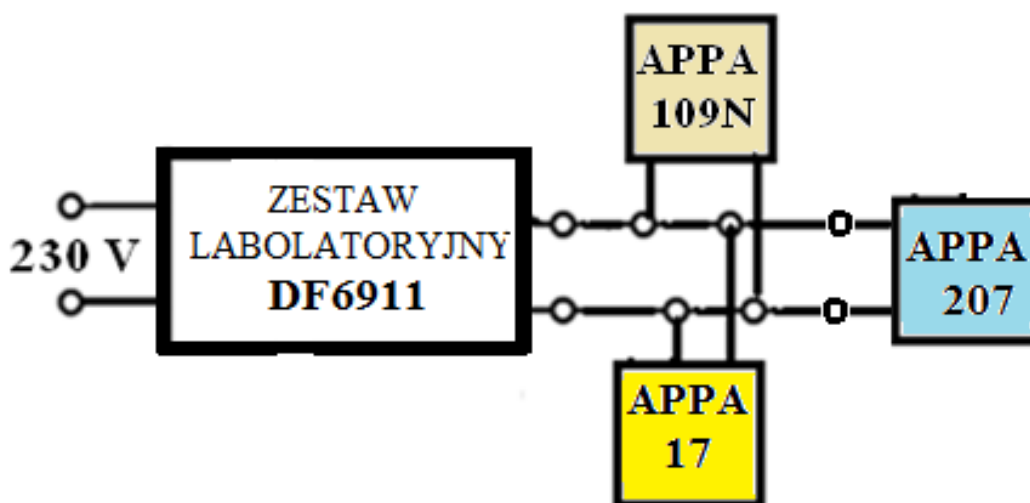
Tabela 4.

	$U_{xi}$			$\Delta U_{xi}$			$U_i = U_{xi} \pm \sqrt{3} \Delta U_{xi}$		
	V			V			V		
Napięcie AT				<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
APPA 207									
APPA 17									
APPA109N									



### 4.3. Pomiar napięć odkształconych z funkcją True RMS

Połączyć układ pomiarowy zgodnie z rys.8. Wykonać pomiary napięć z generatora znajdującego się w zestawie laboratoryjnym DF6911 (sygnał prostokątny o częstotliwości 50 Hz, 500 Hz i 5kHz, wartość napięcia wskaże prowadzący ćwiczenie). Wyniki pomiarów zamieścić w tabeli 5.



Rys.8. Schemat połączeń do pomiaru napięć odkształconych

Tabela 5.

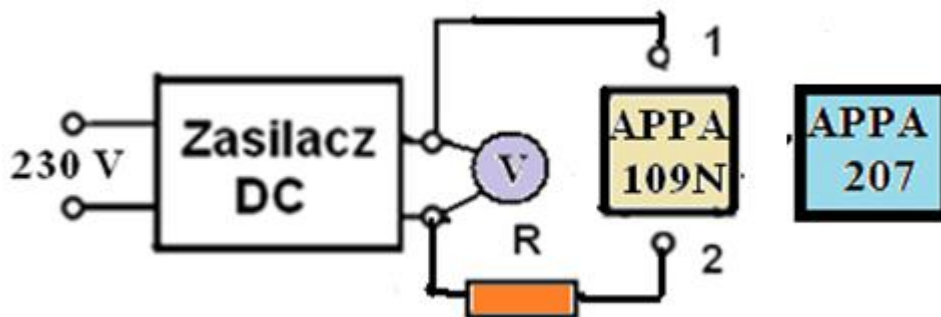
Częstotliwość generatora	50 Hz	5 kHz	50 kHz	50 Hz	5 kHz	50 kHz	50 Hz	5 kHz	50 kHz
	$U_{xi}$			$\Delta U_{xi}$			$U_i = U_{xi} \pm \sqrt{3} \Delta U_{xi}$		
	V			V			V		
Multimetr APPA207									
Multimetr APPA17									
Multimetr APPA109N									

*W sprawozdaniu należy:*

- obliczyć brakujące wielkości w tabelach: 3,4 i 5;
- skomentować otrzymane wartości napięć.

#### 4.4. Pomiar prądu DC

Połączyć układ pomiarowy zgodnie z rys.9 (do zacisków 1-2 podłączać kolejno wymienione przyrządy). Po ustawieniu napięcia na zasilaczu DC (wartość wskaże prowadzący ćwiczenie), zmieniając wartość rezystora suwakowego ( $R=100\Omega$ ), przeprowadzić pomiary prądu. Wyniki pomiarów zamieścić w tabeli 6.



Rys. 9. Schemat połączeń do pomiaru prądu DC

Tabela 6.

Napięcie zasilania V				----- -----	----- -----			
Wartość prądu	$I_{xi}$			$\Delta I_{xi}$		$I_i = I_{xi} \pm \sqrt{3} \Delta I_{xi}$		
	A			A		A		
APPA 207								
APPA 109N								
APPA 17	V			<b>X</b>		<b>X</b>		
Wartość rezystancji R	$\Omega$			<b>X</b>				

**W sprawozdaniu należy:**

- obliczyć brakujące wielkości w tabeli 6 zgodnie z przykładem 2;
- skomentować otrzymane wartości prądów.

## 5. PYTANIA I ZADANIA KONTROLNE

1. Wyjaśnij wpływ woltomierza na wielkość mierzoną.
2. Wyjaśnij metodykę pomiaru prądu, napięcia miernikiem cyfrowym.
3. Wyjaśnij wpływ amperomierza na wielkość mierzoną.
4. Wyznacz maksymalny błąd bezwzględny wskazań miernika cyfrowego.
5. Na podstawie danych metrologicznych miernika i wartości mierzonej wielkości wyznacz maksymalny błąd bezwzględny/względny cyfrowego.
6. Zapisz i skomentuj zapis: np.:  $\pm(1,5\%wm+5c)$  dla (50Hz-300Hz).
7. Zdefiniuj i opisz skrót RMS, TRUE RMS.
8. Wymień podstawowe cechy idealnego miernika.

## 6. LITERATURA

1. Chwaleba A., Poniński M., Siedlecki A.: *Metrologia elektryczna*, Wyd. 11, WNT Warszawa 2011.
2. Chwaleba A. i inni. *Metrologia elektryczna* WNT, Warszawa 2003.
3. Piotrowski R. *Ćwiczenia laboratoryjne z metrologii*, Wyd. Politechniki Białostockiej, Białystok 2008.
4. Tumański S. *Technika pomiarowa*, WNT, Warszawa 2007.

## 7. WYMAGANIA BHP

Warunkiem przystąpienia do praktycznej realizacji ćwiczenia jest zapoznanie się z instrukcją BHP i instrukcją przeciwpożarową oraz przestrzeganie zasad w nich zawartych. Wybrane urządzenia dostępne na stanowisku laboratoryjnym mogą posiadać instrukcje stanowiskowe. Przed rozpoczęciem pracy należy zapoznać się z instrukcjami stanowiskowymi wskazanymi przez prowadzącego.

W trakcie zajęć laboratoryjnych należy przestrzegać następujących zasad.

- ♦ Sprawdzić, czy urządzenia dostępne na stanowisku laboratoryjnym są w stanie kompletnym, nie wskazującym na fizyczne uszkodzenie.
- ♦ Sprawdzić prawidłowość połączeń urządzeń.
- ♦ Załączenie napięcia do układu pomiarowego może się odbywać po wyrażeniu zgody przez prowadzącego.
- ♦ Przyrządy pomiarowe należy ustawić w sposób zapewniający stałą obserwację, bez konieczności nachylania się nad innymi elementami układu znajdującymi się pod napięciem.
- ♦ Zabronione jest dokonywanie jakichkolwiek przełączeń oraz wymiana elementów składowych stanowiska pod napięciem.
- ♦ Zmiana konfiguracji stanowiska i połączeń w badanym układzie może się odbywać wyłącznie w porozumieniu z prowadzącym zajęcia.
- ♦ W przypadku zaniku napięcia zasilającego należy niezwłocznie wyłączyć wszystkie urządzenia.
- ♦ Stwierdzone wszelkie braki w wyposażeniu stanowiska oraz nieprawidłowości w funkcjonowaniu sprzętu należy przekazywać prowadzącemu zajęcia.
- ♦ Zabrania się samodzielnego włączania, manipulowania i korzystania z urządzeń nie należących do danego ćwiczenia.
- ♦ W przypadku wystąpienia porażenia prądem elektrycznym należy niezwłocznie wyłączyć zasilanie stanowisk laboratoryjnych za pomocą wyłącznika bezpieczeństwa, dostępnego na każdej tablicy rozdzielczej w laboratorium. Przed odłączeniem napięcia nie dotykać porażonego.