

6. ANALIZA WYNIKÓW SERII POMIAROWYCH,

POMIARY REZYSTANCJI ORAZ DZIELNIKA

NAPIĘCIOWEGO

I. CELE ĆWICZENIA:

- Poznanie i stosowanie wybranych aspektów analizy wyników serii pomiarów.
- Rozpoznawanie i eliminacji wyników pomiarów obarczonych błędami grubymi.
- Poznanie sposobu analizy warunków i wyników pomiarowych.
- Stosowanie poprawnego zapisu wyników pomiarów.
- Praktyczne zastosowanie metody pomiaru kompensacyjnego – pomiar rezystancji z wykorzystaniem mostka i pomiaru bezpośredniego – pomiar rezystancji z wykorzystaniem omomierza.
- Wyznaczenie rezystancji zastępczej układu o połączeniu mieszanym oraz pomiar rezystancji sieci rezystorów.
- Wyznaczanie współczynnika podziału dzielnika z danych pomiarowych.

II. ZAGADNIENIA DO PRZYGOTOWANIA

- Elementy analizy statystycznej – wartość średnia, odchylenie standardowe pojedynczego pomiaru, odchylenie standardowe wartości średniej, zapis wyników pomiaru.
- Niepewności graniczne mierników cyfrowych, błędy grube.
- Metody pomiaru rezystancji – metoda bezpośrednia i mostkowa.
- Obliczenia rezystancji zastępczej rezystorów połączonych szeregowo i równolegle.
- *Zagadnienie rozszerzające – rozkład T-Studenta i jego zastosowanie.*

III. WYPOSAŻENIE POMIAROWE:

- | | |
|--|---------------------|
| • Zestawy rezystorów | • Rezystor dekadowy |
| • Dwa omomierze | • Makieta dzielnika |
| • Układ do pomiaru rezystancji z mostkiem Wheatstone'a | • Multimetr |
| • Sieć siedmiu rezystorów | • Zasilacz |

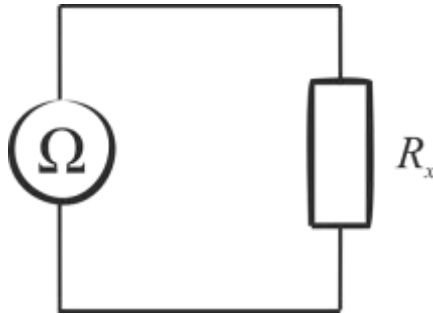
IV. PROGRAM ĆWICZENIA

- ❖ Zapoznanie się z narzędziami pomiarowymi i obiektami pomiarów.
 - Zapoznać się z obsługą mierników. Określić graniczną niepewność pomiaru na podstawie dokumentacji mierników.
 - Na podstawie wskazówek prowadzącego wybrać pudełko z rezystorami. W pudełku powinno być kilkadziesiąt rezystorów, z których należy wylosować 20 sztuk. W jednym pudełku znajdują się rezystory o tej samej wartości nominalnej.
Uwaga: rezystory należy wyciągnąć z jednego pudełka, pomierzyć je, a następnie schować. Przygotować protokół z tabelami pomiarowymi.

ZADANIE 1

1. Wykonywanie pomiarów – seria rezystorów
 - 1.1. Wybrane rezystory ułożyć w kolejności na stole – można je powbijać w gąbkę lub piankę dostępną na stanowisku.
 - 1.2. **Uwaga: należy tak układać rezystory, żeby pod tymi samymi numerami pomiarów (w tabeli) w kolejnych seriach były te same rezystory**
 - 1.3. Wykonać pomiary metoda bezpośrednią według poniższego schematu.

Układ pomiarowy

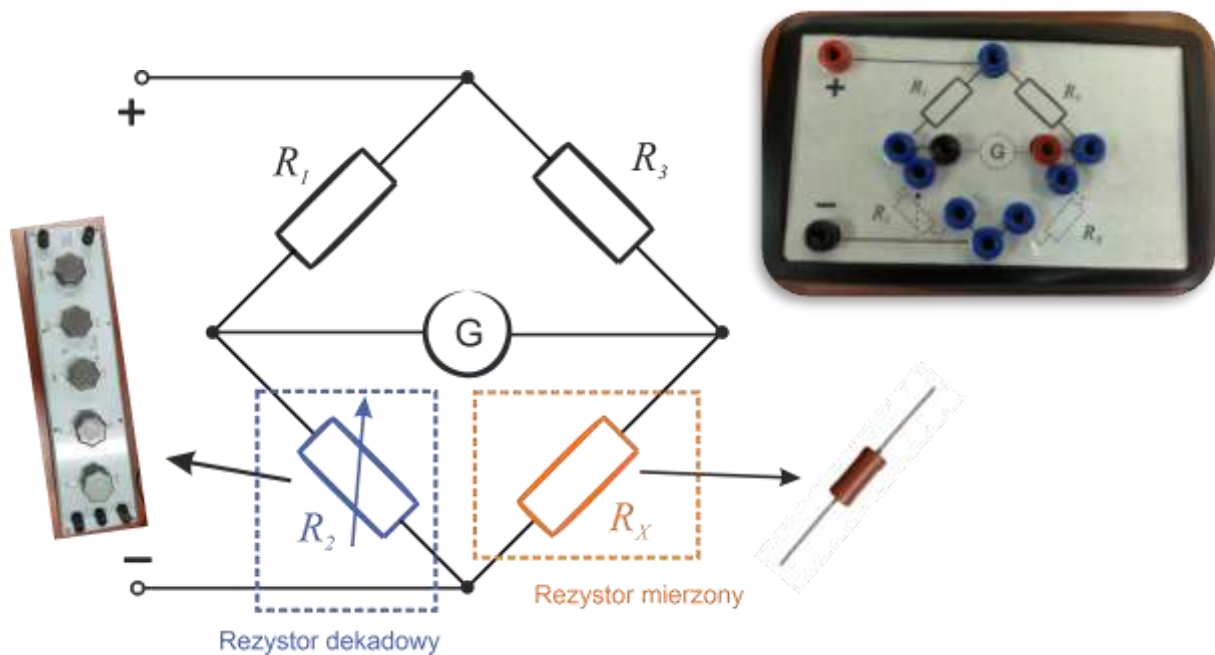


- 1.4. Jeden ze studentów wykonuje pomiary kolejnych rezystorów kolejno dwoma omomierzami, drugi zapisuje wyniki. Role odwracają się podczas pomiarów następnej partii rezystorów.

ZADANIE 2

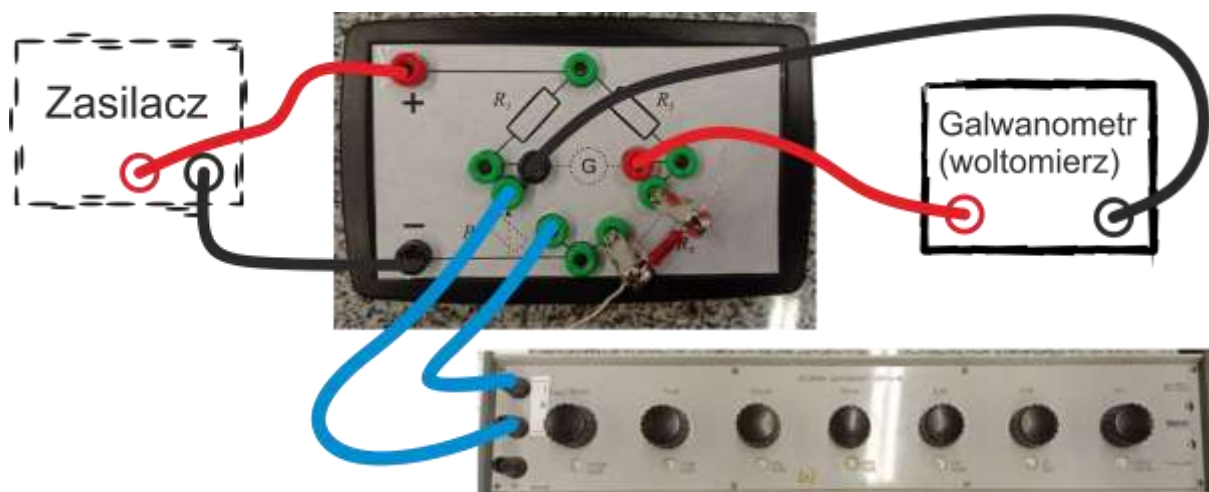
2. Zestawić układ mostka Wheatstone'a zgodnie z poniższym rysunkiem.

Podstawy pomiarów kompensacyjnych oraz zasada działania mostka znajdują się w dodatku informacyjnym na końcu instrukcji



Schemat oraz układ pomiarowy mostka.

Przykład podłączenia układu pomiarowego.

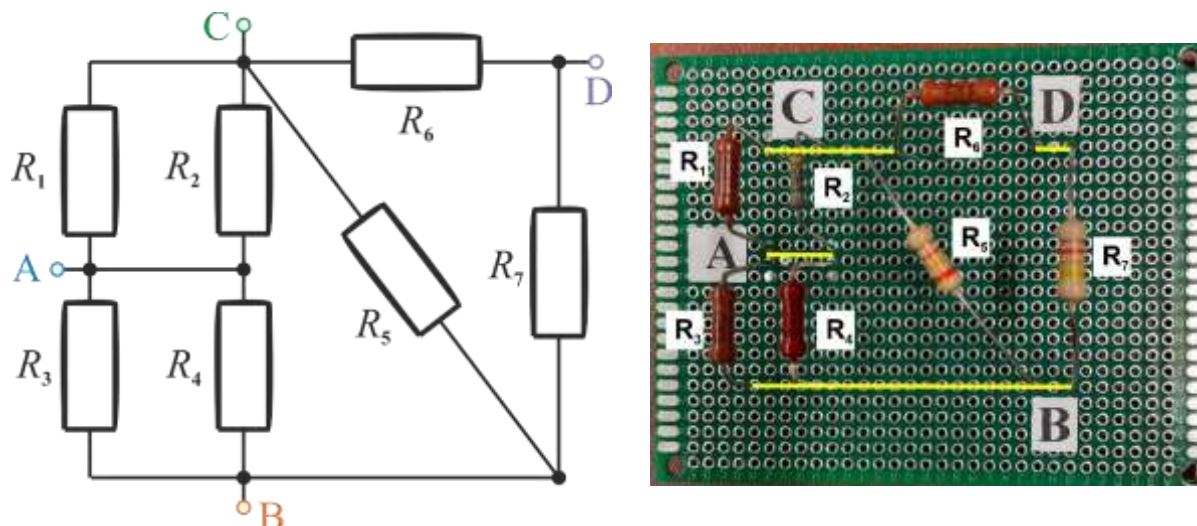


Szczegółowe instrukcje:

- 2.1 Jako wskaźnik zrównoważenia mostka wykorzystać miernik V543 ustawiony na pomiar napięcia stałego – na początek ustawić zakres 10V i zmieniać na mniejszy wraz ze zbliżaniem się do zrównoważenia mostka – zmniejszaniem napięcia w kierunku 0V.
- 2.2 Napięcie zasilacza ustawić na 5V – **uwaga nie podłączać zasilania mostka bez włączonego w układ rezystora mierzonego.**
- 2.3 Dekadę rezystancyjną R_2 ustawić na wartość rezystancji zbliżoną do średniej wyników pomiarów metodą bezpośrednią.
- 2.4 Do zacisków pomiarowych mostka podłączyć badany rezystor R_x (ilość badanych rezystorów ustala prowadzący).
- 2.5 Włączyć zasilanie mostka.
- 2.6 Odczytać napięcie na woltomierzu.
- 2.7 Zmieniając nastawy dekady rezystancyjnej doprowadzić do zrównoważenia mostka – to znaczy uzyskać napięcie jak najbardziej zbliżone do 0V.
- 2.8 Odczytać i zapisać ustawioną na dekadzie rezystancyjnej wartość - wynik pomiaru rezystancji.
- 2.9 Oszacować niepewność graniczną pomiaru związaną z tolerancją rezystorów dekady i rozdzielczością dekady oraz poziomem zrównoważenia mostka.
- 2.10 Odłączyć zasilanie mostka.
- 2.11 Pomiary powtórzyć dla kolejnych rezystorów.

ZADANIE 3

3. Wykonać pomiar rezystancji sieci rezystorów na kolejnych zaciskach: R_{AB} , R_{AC} , R_{CD} , R_{CB} , R_{DB} .
Schemat połączeń rezystorów:



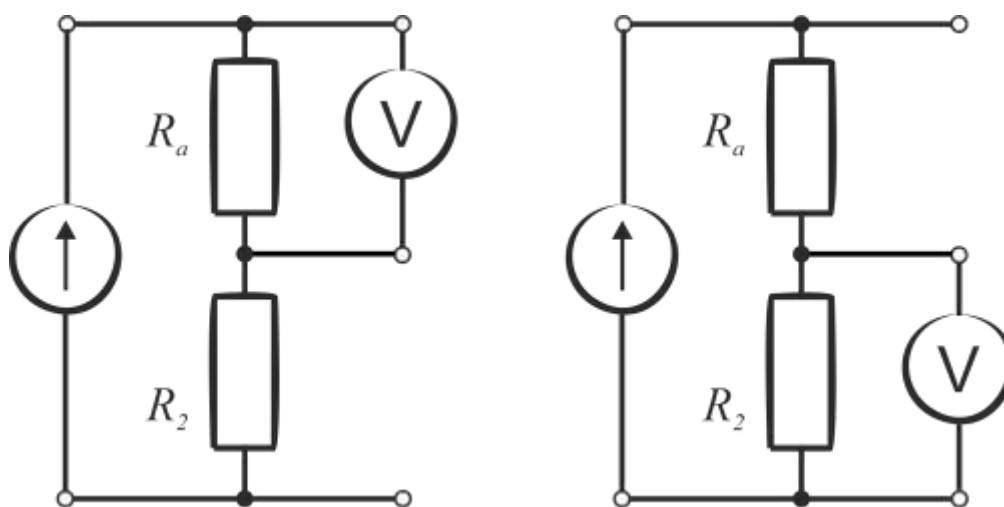
Schemat pomiarowy oraz sieć rezystorów.

Wartości rezystorów: $R_1 = 1\text{k}\Omega$, $R_2 = 5,1\text{k}\Omega$, $R_3 = 3,3\text{k}\Omega$, $R_4 = 1,5\text{k}\Omega$, $R_5 = 2,4\text{k}\Omega$, $R_6 = 1,2\text{k}\Omega$, $R_7 = 4,7\text{k}\Omega$, dla wszystkich rezystorów tolerancja wynosi 5%.

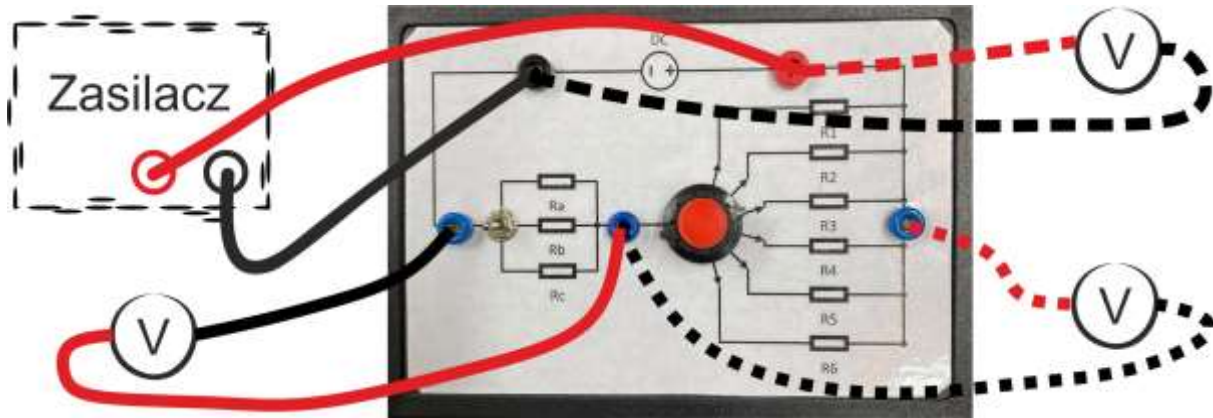
- 3.1 Obliczyć wartość rezystancji na kolejnych zaciskach: R_{AB} , R_{AC} , R_{CD} , R_{CB} , R_{DB} i porównać z wynikami pomiarów.

ZADANIE 4

4. Pomiar napięcia na dzielniku rezystancyjnym – wyznaczanie stosunku rezystancji.



Schemat pomiarowy dla wybranych rezystorów.



Przykład podłączenia układu pomiarowego.

Realizacja zadania:

- 4.1. Do makiety Dzielnik podłączyć zasilacz regulowany z napięciem z zakresu (5 – 15) V zadany przez Prowadzącego.
- 4.2. Multimetr przełączyć na zakres pomiaru napięcia DC i wykorzystać jako woltomierz.
- 4.3. Przełącznikami **R(a-c)** i **R(1-6)** na makiety ustawić dzielniki zadane przez prowadzącego.
- 4.4. Zmierzyć i zanotować napięcia zasilania (na zaciskach DC makiety) oraz na rezystorze R(a-c) oraz R(1-6).
- 4.5. Pomiary powtórzyć dla kolejnych kombinacji **R(a-c)** i **R(1-6)**.

Uwaga: W sprawozdaniu wyznaczyć współczynnik podziału dzielnika $k = \frac{U_{wy}}{U_{we}}$.

Znając wartość $R_1 = 1\text{ k}\Omega$, wyznaczyć pozostałe wartości rezystorów. Na podstawie obliczonych rezystancji wyznaczyć współczynniki podziału dzielnika $k = \frac{R_a}{R_a + R_3}$.

Oszacować niepewność pomiaru (dla wszystkich rezystorów tolerancja wynosi 5%).

Opracowanie wyników pomiaru – zadanie 1

5. Wyznaczenie parametrów statystycznych pomiarów. (Potrzebne wzory znajdują się w punkcie V.2 – obliczenia analogiczne do przykładu zamieszczonego w pliku „Ocena błędów przypadkowych” od strony 6)
 - 5.1. Wyeliminować dla każdego pomiaru błędy grube.
 - 5.2. Wyznaczyć wartość średnią, odchylenie standardowe pojedynczego pomiaru oraz odchylenie standardowe wartości średniej dla wszystkich mierzonych serii pomiarowych. Obliczenia dla różnych mierników należy przeprowadzić osobno.
 - 5.3. Obliczyć niepewności graniczne dla poszczególnych omiemy.
 - 5.4. Oszacować błąd operatora przyrządu ΔR_e .
 - 5.5. Wyznaczyć niepewność całkowitą $U_c(R)$.
 - 5.6. Wyznaczyć wartość średnią rezystancji oporników o wszystkich wartościach nominalnych (czyli R_{sr} dla „każdego używanego pudełka”) oraz niepewność pomiarową średniej ważonej.
 - 5.7. Zapisać prawidłowo uzyskane wartości.

5.8. Wykonać histogram.

5.9. Dokonać analizy wyników (np. które serie pomiarowe cechują się największym rozrzutem, co może być tego przyczyną, czy istnieje relacja między wartościami rezystancji, **jakiej klasy tolerancji są to rezystory**, porównać histogram z np. rozkładem normalnym, itp.).

V. UWAGI DO WYKONYWANIA ĆWICZENIA

1. Tabele pomiarowe (zawierają wyniki pomiaru)

Wyniki pomiarów należy wpisywać do tabeli pomiarowej o następującym formacie

Nr	Miernik 1	Miernik 2	Mostek	...	Miernik 1	Miernik 2	Mostek
	R_1 [jednostka]	R_1 [jednostka]	R_1 [jednostka]		R_k [jednostka]	R_k [jednostka]	R_k [jednostka]
1							
:							
:							
30							

R_k – zmierzone wartości dotyczące rezystorów wylosowanych z jednego pudełka (k – oznacza numer pudełka).

[jednostka] – zamiast „jednostka” należy wpisać jednostkę rezystancji, np. Ω , k Ω , M Ω

Uwaga: W tabeli powinny być w wyraźny sposób oznakowane błędy grube.

2. Zestawienie wyników – pomiar omomierzem

Wyniki obliczeń należy wpisywać do tabeli o następującym formacie

	Miernik 1	Miernik 2	...	Miernik 1	Miernik 2
	R_1 [jednostka]	R_1 [jednostka]	...	R_k [jednostka]	R_k [jednostka]
$R_{\bar{s}r}$					
$S(R)$					
$S(R_{\bar{s}r})$					
ΔR					
ΔR_e					
$U_c(R)$					

n – ilość pomiarów branych pod uwagę w obliczeniach (bez błędów grubych)

$R_{\bar{s}r}$ – wartość średnia $R_{\bar{s}r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i$

$S(R)$ – odchylenie standardowe pojedynczego pomiaru $S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{\bar{s}r})^2}$

$S(R_{\bar{s}r})$ – odchylenie standardowe wartości średniej $S_{\bar{s}r} = \frac{S}{\sqrt{n}}$

ΔR – niepewność graniczna obliczona na bazie zależności podanej w dokumentacji technicznej miernika

ΔR_e – błąd związany z wykonywaniem czynności pomiarowej przez obserwatora (oceniany przez operatora)

$U_c(R)$ – niepewność całkowita $u_c(R) = \sqrt{S^2(R_{\bar{s}r}) + \frac{(\Delta R)^2}{3} + \frac{(\Delta R_e)^2}{3}}$

Wyniki końcowe

Średnia ważona: $\bar{R}_w = \frac{w_1 R_{1\bar{s}r} + w_2 R_{2\bar{s}r}}{w_1 + w_2}$ Waga: $w_i = \frac{1}{u_c^2(R_i)}$

Niepewność pomiarowa średniej ważonej: $u(R_w) = \sqrt{\frac{1}{w_1 + w_2}}$

Uwaga

W sprawozdaniu należy umieścić po jednym przykładzie obliczeń wykonywanych dla wszystkich zakresów pomiarowych wykorzystywanych w pomiarach. Przykład obliczeń powinien zawierać „wzór = podstawione wartości wraz z jednostkami = wynik = wynik po zaokrągleniu z jednostką”

Wyjaśnienie jak wykonać histogram znajduje się w materiałach pomocniczych „Ocena błędów przypadkowych” od strony 12.

VI. UWAGI DO WYKONANIA CZĘŚCI Z POMIARAMI MOSTKOWYMI

1. Metoda kompensacyjna

Metoda kompensacyjna należy do metod zerowych, w której różnicę wielkości mierzonej x i znanej wielkości wzorcowej w doprowadza się do zera. W metodzie kompensacyjnej obie wielkości, mierzona x i wzorcowa w , oddziałują na detektor jednocześnie i przeciwnie. W efekcie następuje kompensacja tego oddziaływania (i stąd nazwa metody). Pomiar sprowadza się do regulacji wartości wzorcowej w tak, aby detektor osiągnął stan równowagi. Najbardziej znanym przykładem pomiaru metodą kompensacyjną jest waga szalkowa – gdzie na jednej szalce umieszcza się przedmiot ważony a na drugiej odważniki wzorcowe aż do uzyskania zrównoważenia szalek – wskazania „0”

Przykładem praktycznego zastosowania metody pomiaru kompensacyjnego w pomiarach elektronicznych jest mostek Wheatstone’a służący do pomiaru impedancji – w szczególnym przypadku – rezystancji.

Wyprowadzenia wzoru na równowagę mostka znajdują się w materiałach do wykładu oraz na stronie OZE z ćwiczeń z fizyki zad. 7.2.1.6

<https://oze.pwr.edu.pl/kursy/fizykacw/content/start/K-08-02-01-06.html>

2. Obliczenia

Z warunku równowagi mostka możemy wyznaczyć rezystancję R_x

$$R_x = \frac{R_3}{R_1} \cdot R_2$$

W obu makietach $R_1 = R_3$. Obliczenia można zatem uprościć do postaci $R_x = R_2$

Wartości niepewności względnych granicznych rezystorów użytych w makietach wynoszą:

$$\delta R_1 = \delta R_3 = 1\%$$

Niepewność graniczna względna rezystora badanego R_x – należy ustalić klasę tego rezystora w pierwszej części ćwiczenia (tolerancja – do jakiego szeregu pomiarowego należą badane rezystory).

REZYSTORY DEKADOWE

Dane techniczne rezystorów dekadowych DR5b – 16 oraz DR7a-16 znajdują się w pliku w kafelku „dokumentacja mierników”.

DR5b – 16



Strzałkami oznaczone są zaciski, do których należy podłączyć mostek.

Dane techniczne: nastawa x1 – klasa 0,1%, dla pozostałych nastaw klasa wynosi 0,05%.

DR7a-16



Strzałkami oznaczone są zaciski, do których należy podłączyć mostek.

Dane techniczne: nastawa x0,1 – klasa 0,5%, nastawa x1 – klasa 0,1%, dla pozostałych nastaw klasa wynosi 0,05%.

Przypomnienie wzorów do obliczeń niepewności

Niepewność względna graniczna pomiaru rezystancji wynosi

$$\delta R_x = \delta R_1 + \delta R_2 + \delta R_3$$

Niepewność standardowa względna pomiaru rezystancji wynosi

$$u_r(R_x) = \sqrt{u_r^2(R_1) + u_r^2(R_2) + u_r^2(R_3)}$$

Przykład obliczeń niepewności nastawy opornicy dekadowej znajduje się w materiałach do wykładu 3, 4, 5 – plik „Niepewności pomiarowe” zad.5

Rezystancja zastępcza

Przykłady obliczeń rezystancji zastępczej można znaleźć w kursie ćwiczeń z fizyki OZE:

zad. 7.1.1.2, zad. 7.1.1.3, zad. 7.1.2.2, zad. 7.1.2.3

<https://oze.pwr.edu.pl//kursy/fizykacw/content/start/K-08-01-01.html>

Dzielnik napięcia

Przykłady obliczeń dla dzielnika można znaleźć w kursie ćwiczeń z fizyki OZE:

zad. 7.2.1.5, zad. 7.2.2.5

Wzór protokołu pomiarowego należy wydrukować przed przyjściem do laboratorium.

PROTOKÓŁ – SERIE POMIAROWE

Imię i nazwisko (drukowane litery)

Termin zajęć / grupa ćwiczeniowa

Data

Spis przyrządów

1. Omomierze (typ)
2. Formuły do obliczeń niepewności granicznych dla wszystkich zakresów pomiarowych dla omomierzy.

Tabela pomiarowa

Nr	R _x seria I []		R _x seria II []		MOSTEK R _x []		
	Miernik 1	Miernik 2	Miernik 1	Miernik 2	Rezystancja dekady		
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							