

Filip Krauz-Damski 267 681  
Filip Kubecki 272 655

Grupa: Pon 13:15

Data wykonania ćwiczenia:  
18 marca 2024r  
Data sporządzenia sprawozdania:  
24 marca 2024r

## **Ćwiczenie 2.**

### **Oddziaływanie przyrządów na badany obiekt**

## **1 Spis przyrządów**

Do wykonania ćwiczenia wykorzystano:

- Przenośny multimetr analogowy AX-7003
- Przenośny multimetr cyfrowy AX-588B
- Multimetr cyfrowy Agilent 34401A
- Zasilacz laboratoryjny symetryczny NDN DF1730SL20A
- Rezystor dekadowy

## **2 Przebieg i cele doświadczeń**

Doświadczenie polegało kolejno na:

- Pomiarze spadków napięć wszystkimi woltomierzami na dzielniku napięcia i wyjaśnieniu różnicy wyników między przyrządami,
- Wyznaczeniu spadku napięcia na dzielniku w przypadku podłączenia dwóch woltomierzy równolegle oraz porównanie tej wartości z rzeczywistym pomiarem tego spadku napięcia
- Zmierzeniu spadków napięć na dzielniku napięcia składającego się z 4 różnych rezystorów i wytłumaczeniu czemu suma spadków tych napięć nie równa się napięciowi zasilania,
- Wyznaczeniu rezystancji wewnętrznej woltomierzy przy pomocy dekady rezystancyjnej,
- Pomiarze rezystancji wewnętrznej amperomierzy przy pomocy omomierza stosując metodę  $\Omega$ -2W,

Celem doświadczeń była obserwacja wpływu rezystancji mierników na układ pomiarowy.

### 3 Wyniki pomiarów

Poniżej zostały zaprezentowane wyniki wykonanego ćwiczenia.

#### 3.1 Część 1 - dzielnik napięcia o wartościach 100/470[kΩ]

Tabela 1 - spadki napięć na wszystkich miernikach

Miernik	Zakres[V]	Spadek napięcia[V]	$R_w$ [kΩ]	$R_z$ [kΩ]
AX-588B	20	8.25	10000	448.902
AX-7003	10	1.8	20	19.184
Agilent-34401A	10	8.279	10000	448.902
2x Agilent-34401A	10	8.2133	10000	429.616

#### 3.2 Część 4 - dzielnik napięcia na 4 rezystorach

Tabela 2 - spadki napięć na kolejnych rezystorach

Rezystor	Spadek napięcia[V]	Zakres[V]
1000000	8.9796	10
100000	0.9223	1
10000	0.09191	0.1
1000	0.009037	0.1

#### 3.3 Część 6 - Pomiar rezystancji woltomierzy przy pomocy rezystora dekadowego

Tabela 3 - Miernik Agilent 34401A

Zakres[V]	Wartość[MΩ]	Napięcie zasilania[V]	Wartość katalogowa[MΩ]
10	9.9	5	10
100	9.94	5.05	10
1000	9.9	5	10

Tabela 4 - Miernik AX-588B

Zakres[V]	Wartość[MΩ]	Napięcie zasilania[V]	Wartość katalogowa[MΩ]
20	9.85	5	10
200	9.85	5	10

Tabela 5 - Miernik AX-7003

Zakres[V]	Wartość[KΩ]	Napięcie zasilania[V]	Wartość katalogowa[KΩ]
10	21	4.99	20
50	90	4.99	100
250	200	4.98	500

### 3.4 Część 7 - Pomiar rezystancji amperomierzy przy pomocy omomierza

Tabela 6 - Miernik Agilent 34401A

Zakres[V]	Wartość[Ω]	Wartość katalogowa[Ω]
0.01	5.507	5
0.1	5.507	5
1	0.499	0.1
3	0.498	0.1

Tabela 7 - Miernik AX-588B

Zakres[V]	Wartość[Ω]	Wartość katalogowa[Ω]
0.002	101	100
0.02	11.464	10
0.2	2.414	1
20	0.056	0.01

Tabela 8 - Miernik AX-7003

Zakres[V]	Wartość[Ω]	Wartość katalogowa[Ω]
0.025	852	...
0.25	87	...

## 4 Analiza wyników

### Część 1-3

W wynikach pomiarów można zaobserwować, że spadki napięć zmieniają się w zależności od wykorzystanego miernika. Korzystając ze wzoru na dzielnik napięcia jesteśmy w stanie oszacować prawidłowy spadek napięcia, jaki powinniśmy otrzymać na rezystorze 470 [kΩ]:

$$U_{wyj} = U_{wej} \cdot \frac{R}{R + R_1}$$

$U_{wej}$  - napięcie zasilania dzielnika napięcia,

$U_{wyj}$  - napięcie wyjściowe mierzone względem rezystora  $R$ ,

$R$  - rezystor na którym chcemy otrzymać odpowiedni spadek napięcia,

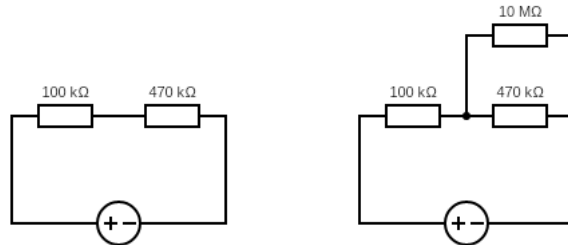
$R_1$  - pozostała rezystancja w obwodzie/drugi rezystor,

Podstawiając dane do wzoru:

$$U_{wyj} = U_{wej} \cdot \frac{R}{R + R_1} = 10.123[V] \cdot \frac{470[k\Omega]}{470[k\Omega] + 100[k\Omega]} = 8.3470350877193[V] \approx 8.3470[V]$$

Wynik został zaokrąglony do tej samej dokładności co najdokładniejszy z wyników pomiarów w celu łatwiejszego porównania.

Można zauważyć więc że wszystkie otrzymane wyniki zostały zaniżone względem przewidywanej wartości. Powodem tego jest sama metoda pomiarowa. Wstawiając do układu woltomierz tak jak na schemacie niżej (woltomierz symbolizuje rezystancja 10 [MΩ] – rezystancja wewnętrzna miernika Agilent 34401A), zmieniamy rezystancje całego układu.



Największą różnicę otrzymaliśmy na mierniku analogowym AX-7003 ponieważ posiada on najmniejszą rezystancję wewnętrzną co znacząco zaniża mierzony spadek napięcia. Dzięki znajomości rezystancji wewnętrznej mierników jesteśmy w stanie wyliczyć rezystancję zastępczą na której wykonujemy pomiar spadku napięcia przy dołożeniu woltomierza do układu. Wynika ona bowiem z rezystancji zastępczej dwóch rezystorów połączonych równolegle:

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

Na przykładzie miernika Agilent 34401A włączonego równolegle do rezystora 470[kΩ]:

$$R_z = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{470[k\Omega] \cdot 10[M\Omega]}{470[k\Omega] + 10[M\Omega]} = 448901.623 \dots [\Omega]$$

Idąc dalej jesteśmy w stanie obliczyć przewidywaną wartość naszych pomiarów podstawiając tą rezystancję do wzoru na spadek napięcia w dzielniku napięcia. Poniżej zostały przedstawione wynik tych obliczeń na przykładzie dwóch mierników Agilent 34401A włączonych równolegle do rezystora 470[kΩ]:

$$U_{wyj} = U_{wej} \cdot \frac{R}{R + R_1} = 10.123[V] \cdot \frac{429616 \dots [\Omega]}{429616 \dots [\Omega] + 100[k\Omega]} = 8.21162 \dots [V]$$

Poniżej przedstawiono tabelę z wszystkimi otrzymanymi wynikami.

Wartość zmierzona[V]	Wartość obliczona[V]	$R_z[\Omega]$	$\Delta_V[V]$	$\delta_V[\%]$
8.250	8.279	448902	0.072	0.87
1.8	1.6	19184	0.5	28
8.27900	8.27877	448902	0.00017	0.0021
8.21330	8.21162	429616	0.00017	0.0021

$R_z$  - rezystancja zastępcz układu woltomierz rezystor 470[k $\Omega$ ],

$\Delta_V$  - błąd bezwzględny wartości zmierzonej dla kolejnych mierników,

$\delta_V$  - błąd względny wartości zmierzonej dla kolejnych mierników,

Jak widzimy w tabeli powyżej wszystkie wartości zmierzone albo zawierają się w wartości obliczonej w granicy błędu pomiarowego miernika albo różnica między wartościami jest na tyle niewielka że może wynikać z dodatkowej oporności przewodów pomiarowych czy niedokładności rezystancji samych rezystorów.

## Część 4-5

Doświadczenie zostało błędnie przeprowadzone gdyż napięcie zasilania zostało zmierzone raz na początku ustawiania układu a nie mierzone ciągle tak jak zostało zapisane w poleceniu. Mimo wszystko jesteśmy w stanie wyciągnąć częściowe wnioski wynikające z ćwiczenia.

Po zsumowaniu spadków napięć na wszystkich rezystorach otrzymano wartość 10.002847[V]. Napięcie zasilania wynosiło 10.12[V] więc różnica tych dwóch wyników wyniosła 0.117153[V]. Jest to wynik którego można było się spodziewać gdyż zachodzi tutaj zjawisko przedstawione w poprzedniej części ćwiczenia. Gdy podłączamy woltomierz na zaciski rezystora zmieniamy rezystancję elementu na którym mierzymy spadek napięcia jak i rezystancję całego układu. Skutkiem tego jest zaniżenie wartości mierzonych przez rezystancję wewnętrzną woltomierza.

Jesteśmy w stanie wy syntetyzować idealny wynik przeprowadzonego doświadczenia korzystając ze wzoru na rezystancje zastępczą układu równoległego rezystorów oraz z wzoru na dzielnik napięcia. Zakładając idealne zasilanie 10[V], rezystory o idealnych wartościach 1k[ $\Omega$ ], 10k[ $\Omega$ ], 100k[ $\Omega$ ], 1M[ $\Omega$ ] oraz idealnej wartości rezystancji wewnętrznej woltomierza równej 10M[ $\Omega$ ] możemy wyliczyć poniższe wartości:

$R[\Omega]$	$U_R[V]$	$R_z[\Omega]$	$U_{R_z}[V]$
1000000	9.000900	909091	8.91186
100000	0.900090	99010	0.89197
10000	0.090009	9990	0.08992
1000	0.009001	1000	0.00900

$R$  - rezystancja rezystora,

$R_z$  - rezystancja zastępcza układu rezystor/woltomierz,

$U_R$  - spadek napięcia na rezystorze,

$U_{R_z}$  - spadek napięcia na układzie rezystor/woltomierz,

Po zsumowaniu spadków napięć  $U_{R_z}$  otrzymujemy wartość 9.902754713[V]. Po odjęciu od napięcia zasilania otrzymujemy wartość 0.097245287[V]. Wartość ta jest zbliżona do wartości zmierzonej jednak różnica ta nie mieści się w granicy błędu pomiarowego z powodów wymienionych na początku tej sekcji.

## Część 6

Dla miernika Agilent 34401A wyniki (Tabela 3) są zbliżone do wartości katalogowych a różnica między wartościami mieści się w granicy około 1%.

Taka sama sytuacja występuje w przypadku miernika AX-588B gdzie różnica między notą katalogową a wartością wyznaczoną przy użyciu dekad rezystancyjnej mieści się w granicach błędu. Nie udało się jednak zmierzyć rezystancji zakresu 1000[V] na tym mierniku gdyż zakres ten pozwala na odczyt z dokładnością do jedności a poprawne wyznaczenie rezystancji wymagało możliwości odczytu wartości napięcia z dokładnością do jednej dziesiątej. Wartość ta została więc pominięta w tabeli z wynikami (Tabela 4).

Inaczej mają się wyniki miernika analogowego AX-7003. W jego przypadku im wyższy zakres mierzono tym większa różnica wyniku od wartości katalogowej. Jest to bezpośrednie następstwo charakterystyki niepewności mierników analogowych które najdokładniej mierzą wartości bliskie końca zakresu. W tej sytuacji wartości znajdowały się poniżej  $\frac{1}{4}$  skali co wpłynęło znacząco na pomiary. Tak samo jak w przypadku miernika AX-588B nie udało się dokonać pomiaru na najwyższym zakresie gdyż dokładność skali miernika nie pozwalała na odczyt wartości 2.5[V] na zakresie 500[V]. Wartość ta nie została więc uwzględniona w tabeli z wynikami (Tabela 5).

Poniżej zostały umieszczone wartości niepewności bezwzględnej( $\Delta$ ) i względnej( $\delta$ ) miernika AX-7003 dla danego doświadczenia:

Zakres[V]	Spadek napięcia na mierniku[V]	$\Delta$ [V]	$\delta$ [%]
10	2.5	0.5	20
50	2.5	2.5	100
250	2.5	12.5	500

Tak jak widać różnice w wartościach wynikają z niepewności pomiarowej miernika analogowego.

## Część 7

Przy pomocy miernika Agilent 34401A stosując metodę  $\Omega - 2W$  (Two wire) wykonano pomiary rezystancji wszystkich amperomierzy na wszystkich zakresach stałoprądowych. W celu poprawnej analizy wyników na początku wyliczono niepewności pomiaru rezystancji przy pomocy miernika Agilent 34401A. Niepewność ta dana jest wzorem:

$$\Delta = \pm(a\% \cdot X + c\% \cdot X_{max})$$

$a$  - składowa niepewności wynikająca z tolerancji wartości elementów, nieliniowości, wzmocnienia i niepewności wzorca napięcia,

$c$  - składowa niepewności wynikająca z rozdzielczości przetwarzania sygnału analogowego na cyfrowy - błąd kwantowania i zliczania,

$X$  - wartość odczytana,

$X_{max}$  - zakres pomiarowy (największa możliwa do zmierzenia wartość),

Dodatkowo producent podaje że dla metody  $\Omega - 2W$  należy dodać wartość  $0.2[\Omega]$  w przypadku gdy nie została użyta funkcja NULL. Jest to działanie które ma za zadanie usunąć rezystancję przewodów z odczytanej wartości. W przypadku tego pomiaru nie została użyta funkcja NULL a przewody zastosowane w doświadczeniu nie były przewodami dostarczonymi przez firmę Keysight wraz z ich urządzeniem.

Przykładowy pomiar niepewności rezystancji dla amperomierza Agilent 34401A (zakres badanego amperomierza Agilent 34401A  $0.1[A]$ ):

$$\Delta = \pm(a\% \cdot X + c\% \cdot X_{max}) = \pm(0.003\% \cdot 5.507[\Omega] + 0.003\% \cdot 100[\Omega] + 0.2[\Omega]) = \pm 0.203165 \dots [\Omega]$$

Poniżej zostały podane niepewności dla kolejnych mierników oraz ich zakresów:

Miernik	Badany zakres[A]	Zakres omomierza[ $\Omega$ ]	$\Delta$ [ $\Omega$ ]	$\delta$ [%]
<b>Agilent 34401A</b>	0.01	100	0.21	3.8
	0.1	100	0.21	3.8
	1	100	0.21	42
	3	100	0.21	42
<b>AX-588B</b>	0.002	100	0.21	0.21
	0.02	100	0.21	1.8
	0.2	100	0.21	8.5
	20	100	0.21	360
<b>AX-7003</b>	0.025	1000	0.23	0.027
	0.25	100	0.21	0.25

Można zauważyć że dla zakresów mierzących niewielkie prądy wartości mierzone i dane w notach katalogowych są do siebie zbliżone (Tabela 6,7,8) co pokazują również niepewności względne. Jednak dla zakresów mierzących duże prądy wyniki rozbiegają

się. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest prawdopodobnie użycie przewodów o nieznamym rezystancji oraz nie użycie funkcji **NULL** na omomierzu przed przystąpieniem do pomiarów.

Dodatkowo zaznaczamy że producent nie podał wartości rezystancji wewnętrznej dla miernika AX-7003 na pomiarze prądu. Tak samo wartość ta nie została bezpośrednio przedstawiona w nocie katalogowej miernika AX-588B. Została tam jednak podana wartość maksymalnego spadku napięcia na wszystkich zakresach która wynosiła 0.2[V]. Korzystając z prawa Ohma wykorzystano tą wartość do oszacowania wartości rezystancji wewnętrznej amperomierza tak jak przedstawiono poniżej:

$$R = \frac{U}{I_{max}}$$

$R$  - rezystancja wewnętrzna amperomierza na danym zakresie,

$U$  - maksymalny spadek napięcia na zakresie wynoszący 0.2[V].

$I_{max}$  - maksymalny prąd/zakres pomiarowy,

Przykładowo dla zakresu 0.02[A]:

$$R = \frac{U}{I_{max}} = \frac{0.2[V]}{0.02[A]} = 10[\Omega]$$

## 5 Uwagi i wnioski

Z całego ćwiczenia można wywnioskować że rezystancja urządzeń pomiarowych może mieć duży wpływ na ostateczny wynik pomiaru. Należy więc przed przystąpieniem do mierzenia danej wartości zastanowić się czy zastosowane urządzenia nie wpłyną negatywnie na wynik doświadczenia. W przypadku woltomierzy należy szczególnie uważać przy pomiarze spadków napięcia na bardzo dużych rezystancjach gdyż rezystancja zastępcza takich układów może znacznie się zmniejszyć co poda zaniżony wynik pomiaru.

Dodatkowo z ostatnich dwóch części ćwiczenia można zauważyć że dla woltomierzy wraz ze wzrostem ich zakresu powinna rosnąć ich rezystancja wewnętrzna a w przypadku amperomierzy przeciwnie (chyba że miernik na wszystkich zakresach posiada jednakową bardzo dużą rezystancję wewnętrzną), im większy zakres tym mniejsza powinna być rezystancja miernika.