

**Laboratorium Podstaw Miernictwa
Laboratorium Podstaw Elektrotechniki i Pomiarów**

**ZASADY DOKUMENTACJI
procesu pomiarowego**

**Przykład
PROTOKÓŁU POMIAROWEGO**

Opracowali :

dr inż. Jacek Dusza

mgr inż. Sławomir Lada

**Zakład Miernictwa i Optoelektroniki ISE PW
00-665 Warszawa, ul. Nowowiejska 15/19**

Różnorodność procesów pomiarowych sprawia, że protokoły pomiarowe różnych ćwiczeń różnią się zarówno treścią, jak i formą udokumentowania wyników pomiarów. Ponadto, nawet eksperymenty bardzo podobne mogą być udokumentowane i opisane w odmienny sposób, zależnie od **pomysłowości, wiedzy i umiejętności** wykonującego protokół.

Nie można więc podać jednego tylko, szczegółowego schematu protokołu pomiarowego i sposobu jego wykonania. Niemniej, **aby protokół pomiarowy mógł służyć dalszym zastosowaniom**, powinna go cechować przede wszystkim **staranność** dokumentowania danych, logiczny **opis faktów** i trafność wyciąganych **wniosków**.

Poniżej podano zasady, wg których sporządzane są najczęściej protokoły pomiarowe dowolnych eksperymentów, zgodnie z programem różnych ćwiczeń laboratoryjnych.

Podano także przykład protokołu pomiarowego zgodny z opisanym schematem.

Zasady sporządzania protokołu pomiarowego

- I. 1. **Data** i miejsce wykonywania pomiarów.
2. **Dane osobowe**.

- II. 1. Numer i **temat ćwiczenia**.
2. **Cel ćwiczenia**.

- zwięzły opis zamierzonego osiągnięcia w wyniku realizacji przewidzianych zagadnień pomiarowych.

A. **Temat zadania pomiarowego - A.**

1. **Schemat układu pomiarowego** :

- bloki układu pomiarowego, przyrządy, elementy,
- oznaczenia elementów układu i wielkości mierzonych.

2. **Wykaz aparatury** [tylko umieszczonej na schemacie]:

- typ przyrządu, nr inw., użyteczne parametry.

3. **Opis eksperymentu** :

- ewentualny krótki opis procedury pomiarowej
(jeśli przebieg eksperymentu nie wynika czytelnie ze schematu układu pomiarowego),
- ew. ogólna analiza wielkości mierzonej z użyciem mierzonych wielkości pośrednich.

4. **Wyniki pomiarów** :

- tabele zawierające :
 - × wartości wielkości mierzonych bezpośrednio oraz
 - × wartości wielkości pośrednich (lub pomocniczych) i końcowych.

5. **Obliczenia i wykresy** :

- obliczenia wykonywane w trakcie pomiarów (przykłady obliczeń),
- wykresy (np. na papierze milimetrowym lub bezpośrednio w protokóle pomiarowym).

6. **Wnioski** :

- wyeksponowanie najważniejszych rezultatów,
- odniesienie uzyskanych danych doświadczalnych do teorii zagadnienia,
- krytyczne ustosunkowanie się do wyników pomiarów,
- ocena, czy cel eksperymentu został osiągnięty,
- wskazanie ew. trudności podczas przeprowadzania eksperymentu,
- opracowanie zaleceń, np. dla praktyki inżynierskiej .

B. **Temat zadania pomiarowego - B.**

(oprac. - j.w. zadanie A) .

III. **Podsumowanie pomiarów**

[np.: porównanie i ocena właściwości stosowanych metod pomiarowych,
ew. zgodności wyników w granicach błędów pomiarowych].

**Przykładowe
zadania pomiarowe**

- A.** Zmierzyć charakterystykę prądowo-napięciową danego elementu EB oraz wyznaczyć przebieg charakterystyki rezystancji statycznej tego elementu.
Dla wybranego punktu pomiarowego przeprowadzić analizę błędów pomiarowych.
- B.** Wykorzystując oscyloskop, ustawić na wyjściu dostępnego generatora napięcia sygnał prostokątny o częstotliwości 1 [kHz] i amplitudzie 4 [V].
Oszacować błędy pomiarowe zmierzonych parametrów.

Imię i nazwisko :

Prowadzący ćwiczenie

Gr. studencka :

Ocena : - kol. :

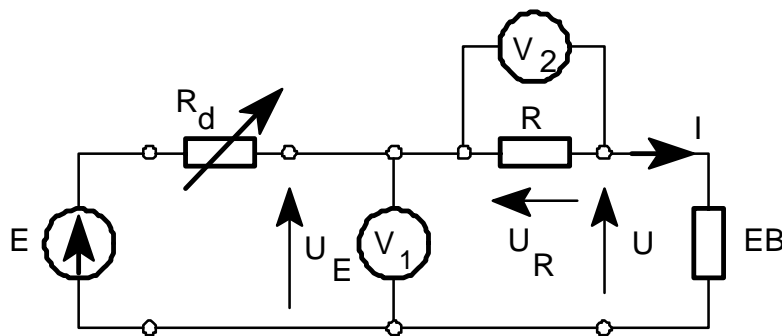
Zespół lab. : ...

- ćw. lab.: ; Razem :

Ćwiczenie 1 [wprowadzające]

Cel ćwiczenia: Poznanie zasad sporządzania protokołu pomiarowego, obsługi wybranych przyrządów pomiarowych oraz przykładów analizy metrologicznej.

A. Pomiar charakterystyki prądowo-napięciowej elementu.



Rys. 1. Układ pomiarowy charakterystyki elementu metodą techniczną.

- E - zasilacz, typ MX-9000, nr T-2939,
 $E = 5 \text{ V}$;
- R_d - opornik dekadowy, typ DR6-16, nr N-1106;
- V_1 - woltomierz, typ LM-3, nr N-3939,
 $k = 0.5$,
 $\kappa = 1000 \text{ } \Omega/\text{V}$,
 $U_z = 1, 3 \text{ lub } 10 \text{ [V]}$;
- V_2 - woltomierz, typ V541, nr T-2948,
 $\Delta_g U = 0.0005 \times U + 0.0001 \times U_z \text{ [V]}$
 $U_z = 100 \text{ mV}$,
 $R_v = 10 \text{ M}\Omega$;
- R - rezystor wzorcowy 1Ω , nr N-2711,
 $\delta_g R = 0.01 \%$;
- EB - element badany .

Opis eksperymentu [Uwaga: nie jest wymagana obszerna forma opisu.] :

Woltomierz V_2 (V-541) mierzy spadek napięcia na rezystorze wzorcowym R. Pozwala to obliczyć wg prawa Ohma prąd I płynący przez element badany :

$$I = U_R / R$$

Woltomierz V_1 (LM-3) mierzy napięcie U_E :

$$U_E = U_R + U \text{ ,}$$

stąd, napięcie na elemencie badanym :

$$U = U_E - U_R$$

Dla każdej pary wskazań (I , U) obliczana jest rezystancja statyczna :

$$R_s = U / I$$

Wyniki pomiarów [Uwaga: Wyniki pomiarów odpowiednio wyeksponowane mogą ułatwić dalszą ich analizę.]

Lp	U_E	U_R	I	U	R_s	$\Delta_g R_s$
	[V]	[mV]	[mA]	[V]	[Ω]	[Ω]
1	1.00	3.01	3.01	1.00	332	6
2	2.00	5.99	5.99	1.99	332	
3	3.00	9.99	9.99	2.99	299	
4	3.50	15.01	15.01	3.48	232	
5	4.00	22.09	22.09	3.98	180	
6	4.50	35.02	35.02	4.46	127	
7	5.00	50.00	50.00	4.95	99	

Obliczenia : Analiza metrologiczna wybranego punktu pomiarowego (nr 1 w tabeli) :

[**Uwaga:** Prezentowane niżej wzory i obliczenia są tylko przykładową formą udokumentowania.

Wskazane są możliwe uproszczenia wzorów i formy zapisu. Należy zwracać uwagę podczas obliczeń na liczbę miejsc znaczących oraz zaokrąglenia wyniku pomiarowego i błędów pomiarowych.]

$$U_E = 1.00 \text{ [V]}$$

$$\Delta_g U_E = k \times U_{z-v1} = 0.5 [\%] \times 3 \text{ [V]} = 0.005 \times 3 \text{ [V]} = 15 \text{ [mV]}$$

$$\delta_g U_E = \Delta_g U_E / U_E = 15 \text{ [mV]} / 1.00 \text{ [V]} = 0.015 = 1.5 [\%]$$

$$U_R = 3.00 \text{ [mV]}$$

$$\Delta_g U_R = 0.0005 \times U_R + 0.0001 \times U_{z-v2} = 0.0005 \times 3.00 \text{ [mV]} + 0.0001 \times 100 \text{ [mV]}$$

$$= 0.0015 \text{ [mV]} + 0.01 \text{ [mV]} = 0.0115 \text{ [mV]}$$

$$\delta_g U_R = \Delta_g U_R / U_R = 0.0115 \text{ [mV]} / 3.00 \text{ [mV]} \approx 0.0038 = 0.38 [\%] \approx 0.4 [\%]$$

$$I = U_R / R = 3.01 \text{ [mV]} / 1[\Omega] = 3.01 \text{ [mA]}$$

$$\delta_g I = \delta_g U_R + \delta_g R = 0.4 [\%] + 0.01[\%] \approx 0.4 [\%]$$

$$U = U_E - U_R = 1.00 \text{ [V]} - 3.01 \text{ [mV]} \approx 1.00 \text{ [V]}$$

$$\Delta_g U = \Delta_g U_E + \Delta_g U_R = 15 \text{ [mV]} + 0.0115 \text{ [mV]} \approx 15 \text{ [mV]} \text{ , tj. zgodnie z zasadami zaokrąglenia błędów pomiarowych,}$$

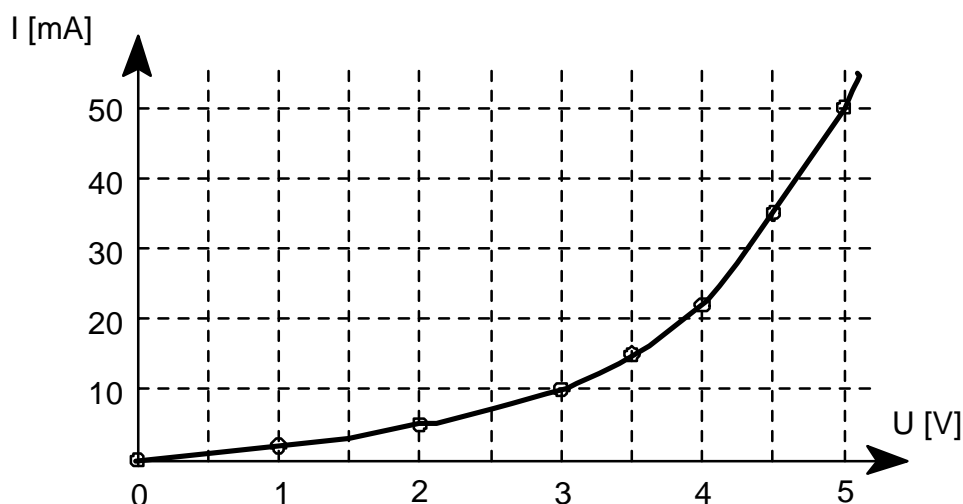
$$\delta_g U = \Delta_g U / U = 15 \text{ [mV]} / 1 \text{ [V]} = 0.015 = 1.5 [\%]$$

$$R_s = U / I = 1 \text{ [V]} / 3.01 \text{ [mA]} \approx 332 \text{ [}\Omega\text{]}$$

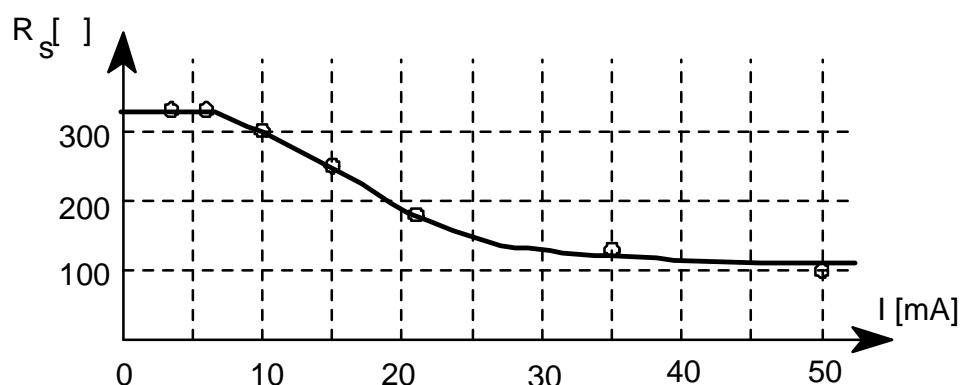
$$\delta_g R_s = \delta_g U + \delta_g I = 1.5 [\%] + 0.4 [\%] = 1.9 [\%]$$

$$\Delta_g R_s = \delta_g R_s \times R_s = 1.9 [\%] \times 332 \text{ [}\Omega\text{]} \approx 6.3 \text{ [}\Omega\text{]} \approx \mathbf{6 \text{ [}\Omega\text{]}}$$

Wykresy [**Uwaga:** Rysunki, sporządzane np. na papierze milimetrowym, należy także dołączać do protokołu.]



Rys.2. Charakterystyka prądowo-napięciowa elementu EB.



Rys. 3. Przebieg zmian rezystancji statycznej elementu EB.

Wnioski :

1) Badany element ma stałą rezystancją statyczną w zakresie małych prądów ($I \leq 6 \text{ mA}$, $U \leq 2.5 \text{ V}$), a następnie charakteryzuje się wyraźnym jej spadkiem.

2) Okazało się, że badana rezystancja statyczna R_s jest ponad 100-krotnie większa od rezystancji wzorcowej $R = 1 \text{ } [\Omega]$. Stąd, błąd systematyczny właściwy pomiaru napięcia U na elemencie badanym za pomocą woltomierza V , wskazującego napięcie U_E , wynosi :

$$\delta U = (U_E - U) / U = \{ I \times (R_s + R) - I \times R_s \} / I \times R_s = R / R_s \leq 1 \text{ } [\%]$$

Uzyskane pomiary charakterystyki prądowo-napięciowej badanego elementu nie są jednak obciążone podanym błędem systematycznym pomiaru (błędem pobrania), ponieważ dla pomiarów woltomierzem LM3 zastosowano poprawkę w postaci:

$$P(U) = - U_R$$

Dzięki temu wyeliminowano wpływ rezystancji opornika R na pomiar napięcia U :

$$U = U_E + P(U) = I \times R_s$$

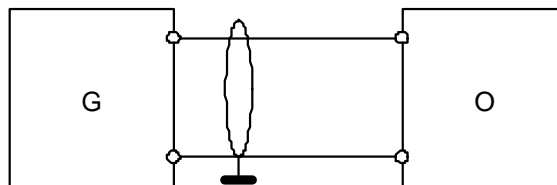
Ostatecznie, pomiary rezystancji statycznej R_s dokonano z dokładnością nie gorszą niż 2 [%].

3) Błąd systematyczny właściwy pomiaru prądu I jest pomijalny, gdyż rezystancja wejściowa woltomierza cyfrowego jest 10^6 -razy większa od rezystancji opornika, na którym jest mierzony spadek napięcia.

B. Obserwacje sygnałów elektrycznych za pomocą oscyloskopu.

Schemat układu pomiarowego.

[Uwaga: Schematy układów pomiarowych mogą zawierać zarówno elementy układu ideowego, jak i blokowego układu pomiarowego. Dla wielu pomiarów wystarczającym schematem jest tylko schemat blokowy z naniesionymi oznaczeniami bloków i wykazem aparatury.]



Rys. 4.

G - generator, typ MX-9000, nr T-2939;

O - oscyloskop, typ HC-5502, nr T-2788,

błąd wsp. odchylenia toru X:

$$\delta_g C_X = 3 [\%],$$

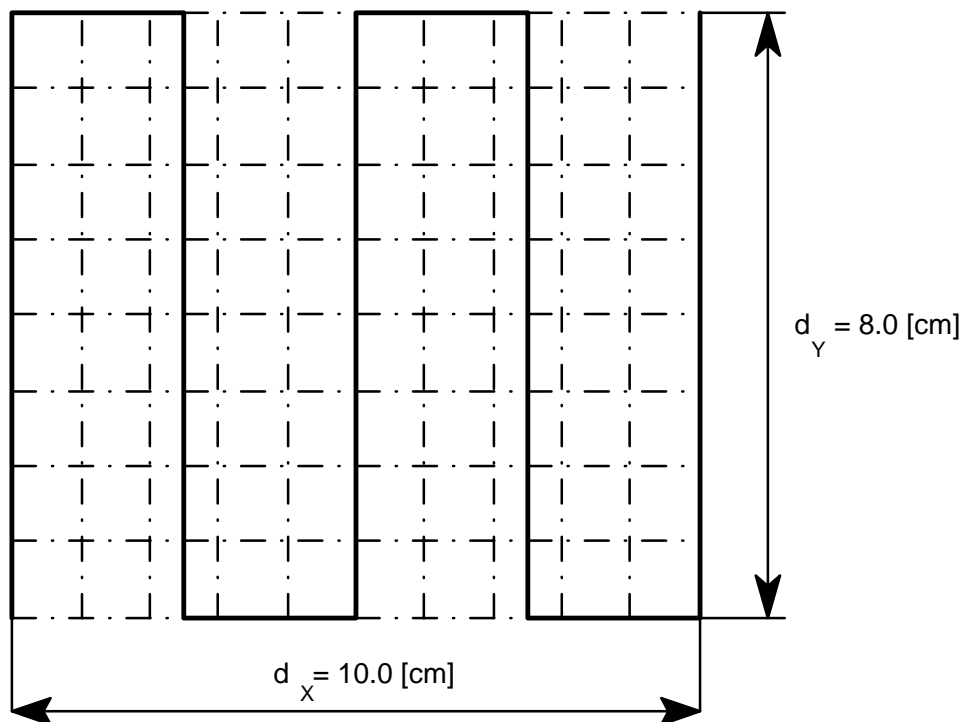
błąd wsp. odchylenia torów Y - CH1 i CH2: $\delta_g C_Y = 3 [\%]$.

Opis eksperymentu [Uwaga: Prezentowany poniżej opis najczęściej nie musi być umieszczany w protokole, bowiem przebieg eksperymentu jest znany bądź w oparciu o treść zadanego polecenia do wykonania bądź jest zrozumiały na podstawie schematu układu pomiarowego.] :

Po zapoznaniu się z funkcjami podstawowych elementów regulacyjnych oscyloskopu, dokonywane są jednoczesne regulacje napięcia i częstotliwości prostokątnego sygnału napięciowego generatora, który obserwowany jest za pomocą oscyloskopu.

Rys. 5. Oscylogram przebiegu prostokątnego.

[Uwaga: Jakkolwiek zbrocza sygnału mogą nie być widoczne na oscyloskopie, to oscylogram powinien być ciągly. Wygodnie jest także zwymiarować interesujące odcinki.]



Ustawienia oscyloskopu: CH1, $C_Y = 0.5 [V/cm]$, $C_X = 200 [\mu s/cm]$,
 $k_T = 2$ (liczba obserwowanych okresów) .

Obliczenia :

a) $T = C_X \times d_X / k_T = 10.0 [cm] \times 200 [\mu s/cm] / 2 = 1.0 [ms]$

b) $f = 1 / T = k_T / C_X \times d_X$

$$= 1 / 1.0[\text{ms}] = \mathbf{1.0 \text{ [kHz]}}$$

$$\begin{aligned} \text{c) } \Delta_g f &= \partial f / \partial k_T \times \Delta_g k_T + \partial f / \partial C_X \times \Delta_g C_X + \partial f / \partial d_X \times \Delta_g d_X \\ &= (1/C_X)^2 \times \Delta_g C_X + (1/d_X)^2 \times \Delta_g d_X \end{aligned}$$

$$\delta_g f = \Delta_g f / f = \delta_g C_X + \delta_g d_X$$

gdzie : $\delta_g d_X$ - błąd względny pomiaru długości odcinka na oscylogramie .

[Uwaga: Błąd odczytu $\Delta_g d_X$ zależy od jakości oscylogramu i powinien być indywidualnie oceniany przez wykonującego pomiary.]

$$\delta_g f = 0.03 + 1.0[\text{mm}] / 100[\text{mm}] = 0.03 + 0.01 = 0.04 = \mathbf{4 \text{ [\%]}}$$

$$\text{d) } U = C_Y \times d_Y = 0.5 \text{ [V/cm]} \times 8 \text{ [cm]} = \mathbf{4 \text{ [V]}}$$

$$\text{e) } \delta_g U = \delta_g C_Y + \delta_g d_Y$$

gdzie : $\delta_g d_Y$ - błąd względny pomiaru wysokości amplitudy na oscylogramie.

$$\delta_g U = 0.03 + 1.0[\text{mm}] / 80[\text{mm}] = 0.03 + 0.0125 \approx 0.04 = \mathbf{4 \text{ [\%]}}$$

Wnioski :

Pomiary parametrów sygnału napięciowego za pomocą oscyloskopu mogą być obarczone znacznym błędem. Błąd odczytu długości mierzonych odcinków jest typowym składnikiem błędu pomiarowego oscyloskopu. Żeby błąd ten zminimalizować dobrano takie nastawy odpowiednio wzmocnienia i generatora podstawy czasu, aby mierzone odcinki były jak najdłuższe.

Mimo błędów pomiarowych oscyloskopu, jest on jednak w praktyce inżynierskiej bardzo dogodnym i często niezastąpionym przyrządem do obserwacji sygnałów elektrycznych.

dr inż. Jacek Dusza

mgr inż. Sławomir Lada

Kier. lab.:

dr inż. Kazimierz Jędrzejewski