

Laboratorium

Co ma być w sprawozdaniu?

1. Tabele (numerowane) z wynikami pomiarów wielkości wraz z niepewnościami.

Tabela 1

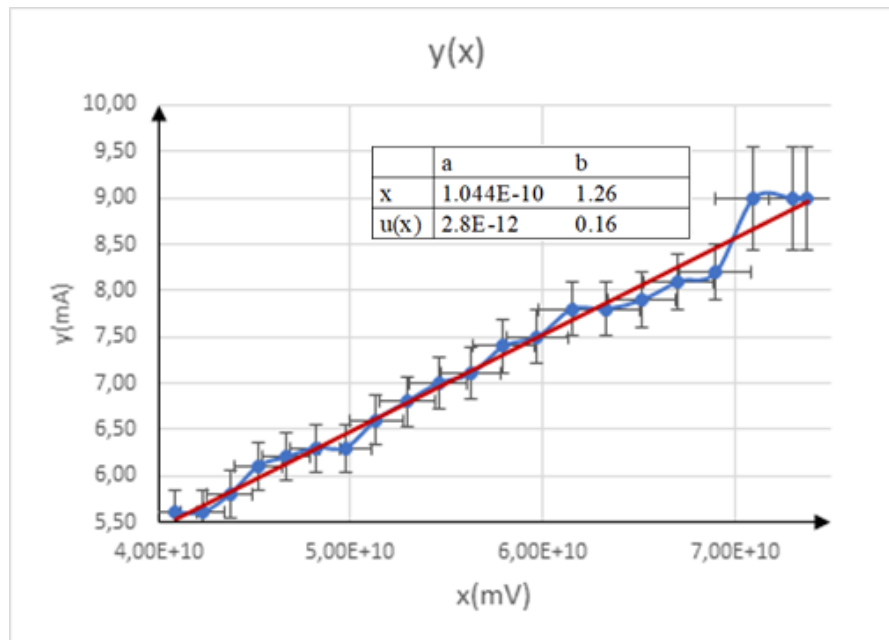
U_d [mV]	$u(U_d)$ [mV]	ε [mV]	$u(\varepsilon)$ [mV]	T [°C]	$u(T)$ [°C]	T [K]	$u(T)$ [K]
1.800	0.076	0.50000	0.00072	76.5	1.8	372.5	1.9
1.900	0.079	0.52500	0.00073	79.8	1.9	375.8	1.9
2.000	0.081	0.55000	0.00074	83.1	1.9	379.1	2.0
2.100	0.083	0.57500	0.00074	86.5	1.9	382.5	2.0
2.200	0.085	0.60000	0.00075	89.8	1.9	385.8	2.0
2.400	0.090	0.62500	0.00076	93.2	1.9	389.2	2.0
2.400	0.090	0.65000	0.00076	96.5	2.0	392.5	2.0
2.600	0.095	0.67500	0.00077	99.9	2.0	395.9	2.1
2.600	0.095	0.70000	0.00078	103.2	2.0	399.2	2.1
2.80	0.18	0.72500	0.00079	106.5	2.0	402.5	2.1

2. Przykładowe obliczenia wielkości fizycznych oraz ich niepewności wraz z jednostkami.

Co ma być w sprawozdaniu?

3. Wykresy, które podobnie jak tabele numerujemy

- Skala + jej opis wraz z jednostkami
- Punkty wraz z niepewnościami (lepiej nie łączyć punktów linią)
- Prosta regresji
- Tabelka ze współczynnikami regresji i ich niepewnościami




4. Obliczenie wielkości fizycznej na podstawie współczynników a lub b, czy też a i b oraz jej niepewności, również na podstawie u(a) i u(b).

Co ma być w sprawozdaniu?

4. Np. obliczenie wielkości fizycznej na podstawie współczynników a lub b , czy też a i b oraz jej niepewności, również na podstawie $u(a)$ i $u(b)$.

$$Z = \frac{1}{a} = \frac{1}{1.19081\text{E}-10} = \frac{10^{10}}{1.19081} \frac{\text{mV}}{\text{mA}} = 8.34656 \cdot 10^{10} \Omega$$

$$u(Z) = \frac{u(A)}{a^2} = \frac{2.8 \cdot 10^{-12}}{(1.1908 \cdot 10^{-10})^2} = 1.9746 \cdot 10^8 \Omega \cong 2.0 \cdot 10^8 \Omega = 0.020 \cdot 10^{10} \Omega$$


**Niepewności zaokrąglamy do drugiej cyfry znaczącej
(zawsze w górę)**

Po zaokrągleniu niepewności, zaokrąglamy wielkość fizyczną, zgodnie z zasadą ogólnie stosowana do zaokrąglania liczb:

$$Z = 8.347(20) \cdot 10^{10} \Omega$$

Co ma być w sprawozdaniu?

5. Tabele, w której dla porównania umieszczamy wszystkie otrzymane końcowe wyniki.

Dioda	E_g [eV]	λ_{\max} [nm]	$\Delta\lambda$ [nm]
Niebieska	$2,586 \pm 0,016$	$480,0 \pm 2,9$	$28,0 \pm 5,8$
Czerwona	$1,8669 \pm 0,0081$	$665,0 \pm 2,9$	$23,3 \pm 5,8$
Podczerwona	$0,9289 \pm 0,0021$	$1336,5 \pm 2,9$	$68,4 \pm 5,8$
Żółta	$2,069 \pm 0,010$	$600,0 \pm 2,9$	$18,2 \pm 5,8$

6. Wnioski.

Niepewności

Rodzaj niepewności	Sposób wyznaczania
Niepewności pomiarów bezpośrednich	
<p>Niepewność standardowa typu A niepewność statystyczna</p> <p>(pomiarzy powtórzone n-krotnie)</p>	<p>Dla serii n równoważnych pomiarów niepewność pomiaru $u(x)$ utożsamiamy z estymatorem odchylenia standardowego średniej $s(\bar{x})$</p> $u_A(x) \equiv s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$ <p>gdzie $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$</p>
<p>Niepewność standardowa typu B niepewność szacowana</p> <p>(wykonany jeden pomiar lub wyniki nie wykazują rozrzutu)</p>	<p>Uwzględnia:</p> <ul style="list-style-type: none"> – niepewność wzorcowania (np. niepewność przyrządu pomiarowego $\Delta_p x$) – niepewność eksperymentatora $\Delta_e x$ – niepewność odczytu wielkości tablicowych $\Delta_t x$ – inne niepewności $u_B(x) = \sqrt{\frac{(\Delta_p x)^2}{3} + \frac{(\Delta_e x)^2}{3} + \frac{(\Delta_t x)^2}{3} + \dots}$
<p>Niepewność standardowa całkowita</p> <p>(standard uncertainty)</p> <p>(gdy obydwa typy niepewności A i B występują równocześnie)</p>	$u(x) = \sqrt{u_A^2(x) + u_B^2(x)}$ $u(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)} + \frac{(\Delta_p x)^2}{3} + \frac{(\Delta_e x)^2}{3} + \frac{(\Delta_t x)^2}{3} + \dots}$

Niepewności

<p>Niepewności pomiarów pośrednich</p>	
<p>Niepewność złożona, którą wyliczamy korzystając z wyznaczonych niepewności standardowych $u(x_j)$ pomiarów bezpośrednich (combined standard uncertainty)</p>	<p>Dla wielkości: $y = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$</p> $u_c(y) = \sqrt{\sum_{j=1}^k \left(\frac{\partial f}{\partial x_j}\right)^2 u^2(x_j)}$ <p>(wielkości x_j są nieskorelowane)</p>
<p>Niepewność rozszerzona (expanded uncertainty)</p>	<p>$U(x) = ku(x)$ lub $U_c(y) = ku_c(y)$ w większości zastosowań (w tym w LPF) przyjmuje się $k=2$</p>
<p>Zapis niepewności i wyniku pomiarów (obowiązuje zasada podawania 2 cyfr znaczących niepewności po zaokrągleniu do góry)</p>	<p>Dla niepewności standardowych zalecany jest zapis z użyciem nawiasów, dla niepewności rozszerzonej z użyciem symbolu \pm.</p> <p>Pomiar masy $m=2,026$ kg, $u(m)=0,036$ zapis $m=2,026(36)$ kg</p> <p>Obliczona wartość objętości bryły i jej niepewność $V=23,5835$ m³, $u_c(V)= 0,786$ m³, $U_c(V)=1,572$ m³ zapis wyniku: $V=(23,6\pm 1,6)$ m³</p>

Dokładności pomiaru i niepewności

<http://lpf.wppt.pwr.edu.pl/pomocze-dydaktyczne.php>

- **Miernik cyfrowy**

3. Multimetr M-3850 M-3860D

FUNKCJA	ZAKRES	DOKŁADNOŚĆ	ROZDZIELCZOŚĆ
Napięcie stałe (DC V) M-3850, M-3860D	400 mV	$\pm 0,3 \% \text{ rdg} + 1 \text{ dgt}$	100 μV
	4 V		1 mV
	40 V		10 mV
	400 V		100 mV
	1000 V	$\pm 0,5 \% \text{ rdg} + 1 \text{ dgt}$	1 V

Przykład: pomiar $U=125.1\text{mV}$

$$\Delta U = \pm 0.003 \cdot 125.1\text{mV} + 0.1\text{mV} = 0,4753\text{mV}$$

$$u(U) = \frac{0,4753\text{mV}}{\sqrt{3}} = 0,1584(3) \cong 0,2\text{mV} \quad U = (125.1 \pm 0,2)\text{mV}$$

Dokładności pomiaru i niepewności

- Miernik analogowy: $\Delta X = \frac{\textit{klasa} \cdot \textit{zakres}}{100}$

Przykład 1.

$U = 1\text{mV}$, zakres $U_z = 100\text{mV}$, klasa 2

$$\Delta U = \frac{2 \cdot 100}{100} \text{mV} = 2\text{mV} \quad \text{Dokładność większa aniżeli pomiar!}$$

Przykład 2.

$U = 50\text{mV}$, zakres $U_z = 100\text{mV}$, klasa 2

$$\Delta U = \frac{2 \cdot 100}{100} \text{mV} = 2\text{mV} \quad \text{Dokładność dużo mniejsza aniżeli pomiar .OK!}$$

Pomiary wykonujemy zawsze tak, aby wynik mieścił się bliżej końca zakresu pomiarowego.

Niepewności

- **Regresja liniowa - zakładka Excel Fizyka 3.3**
- <https://popko.wppt.pwr.edu.pl>
-

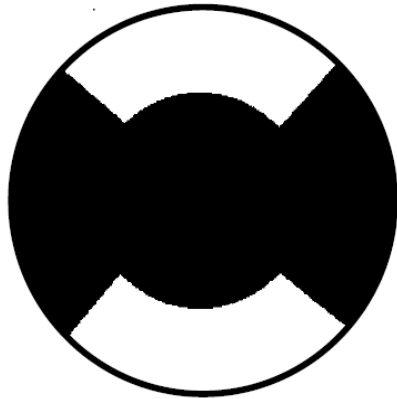
Miernik analogowy



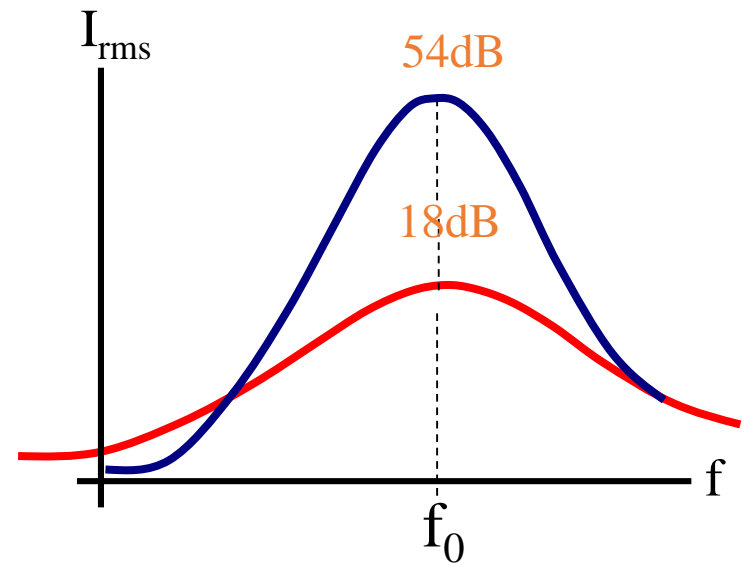
Nanowoltomierz selektywny

Nanowoltomierz selektywny posiada na wejściu obwód rezonansowy, który należy dostroić do częstości modulatora.

Octave selectivity - czułość na oktawę. Ustawić na 54dB



Tarcza modulatora. Wiązka światła jest w czasie $T/4$ odsłaniana i w takim samym czasie przysłaniana. Częstość modulacji zależy od częstości obrotów silnika i liczby skrzydełek wiatraczka. Dla 2 skrzydełek, $f = 2f_{silnika}$.



Nanowoltomierz selektywny



SENSITIVITY – czułość (zakres pomiarowy) – przed włączeniem ustawić na 100mV
FREQUENCY RANGE – zakres częstości. Wybrać taki, w którym mieści się częstość modulatora

OCTAVE SELECTIVITY– selektywność. Ustawić na 54dB.

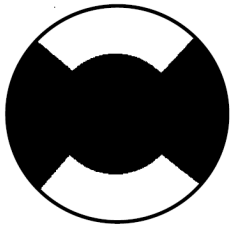
TIME CONSTANT– stała czasowa. Ustawić wyjściowo na „low”.

FREQUENCY – częstość. Ustawić pokrętko tak, aby częstość była równa częstości modulatora.

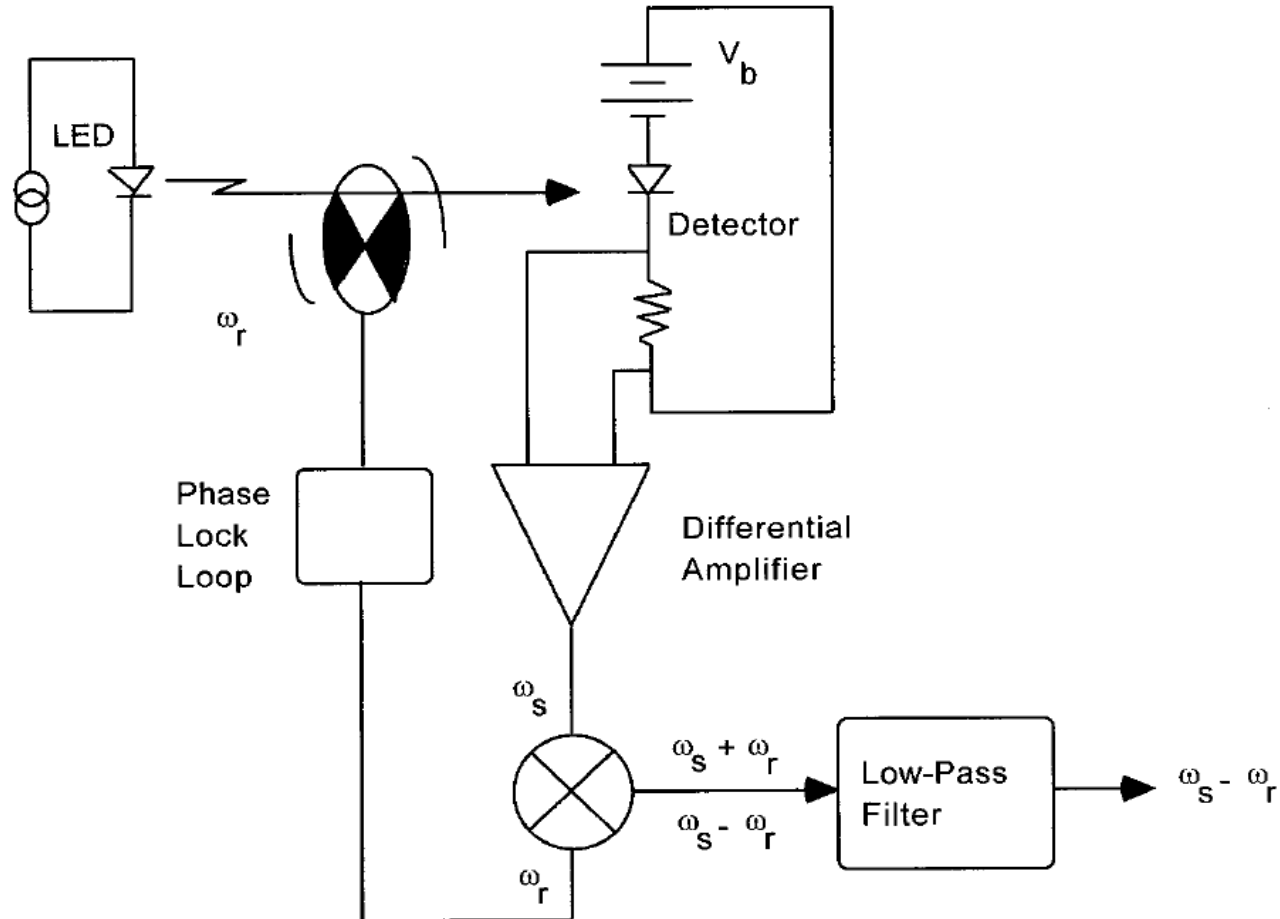
INPUT – wejście, do którego podłączamy bezpośrednio wyjście z detektora.

PREAMPLIFIER POWER SUPPLY – wejście, do którego podłączamy przedwzmacniacz, jeśli wyjście z detektora podłączamy do przedwzmacniacza.

Pomiar charakterystyk widmowych źródeł promieniowania i fotodetektorów przy pomocy detektora fazoczułego lock-in (nanowoltomierz homodynowy)



Tarcza modulatora.
Wiązka światła jest w czasie $T/4$ odsłaniana i w takim samym czasie przysłaniana. Częstość modulacji zależy od częstości obrotów silnika i liczby skrzydełek wiatraczka.
Dla 2 skrzydełek, $f = 2f_{silnika}$.



Lock-in

Sygnal mierzony:

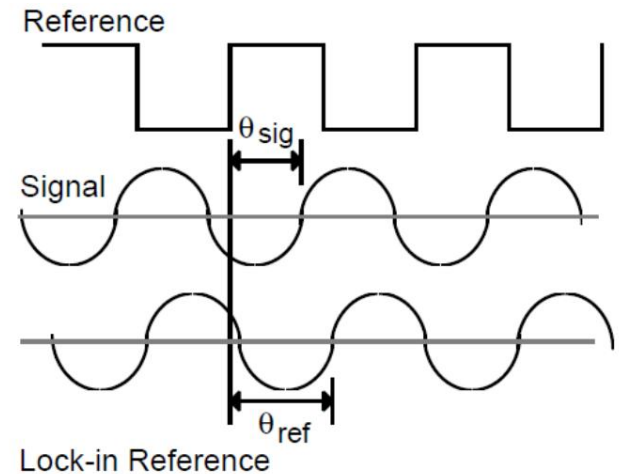
$$V_{\text{sig}} \sin(\omega_s t + \theta_{\text{sig}})$$

Sygnal referencyjny:

$$V_r \sin(\omega_r t + \theta_{\text{ref}})$$

Sygnal na wyjściu lock-in'a:

$$\begin{aligned} V_{\text{psd}} &= V_{\text{sig}} V_r \sin(\omega_s t + \theta_{\text{sig}}) \sin(\omega_r t + \theta_{\text{ref}}) \\ &= \frac{1}{2} V_{\text{sig}} V_r \cos([\omega_s - \omega_r]t + \theta_{\text{sig}} - \theta_{\text{ref}}) - \\ &\quad \frac{1}{2} V_{\text{sig}} V_r \cos([\omega_s + \omega_r]t + \theta_{\text{sig}} + \theta_{\text{ref}}) \end{aligned}$$



$$\sin\alpha \sin\beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)]$$

Filtr dolnoprzepustowy eliminuje sygnał o częstotliwości $\omega_s + \omega_r$.

Dla $\omega_r = \omega_s$ sygnał na wyjściu jest stały i największy dla różnicy faz równej zero.

$$V_{\text{psd}} = \frac{1}{2} V_{\text{sig}} V_r \cos(\theta_{\text{sig}} - \theta_{\text{ref}})$$

Ustalamy położenie pokrętła PHASE SHIFT (przesunięcie fazowe), aby sygnał był jak największy.



lock-in

- DC ZERO** – przycisk włączony przed włączeniem POWER miernika.
- RECOVER SIGNAL** – przycisk włączony podczas pomiaru.
- SENSITIVITY** – czułość (zakres pomiarowy) – przed włączeniem ustawić na 30mV
- BAND PASS FILTER**– zakres częstości. Wybrać taki, w którym mieści się częstość modulatora
- TIME CONSTANT**– stała czasowa. Ustawić wyjściowo na 0,3s.
- PHASE SHIFT** – przesunięcie fazowe; regulujemy tak aby sygnał był maksymalny, używając przycisków 0° lub 90° a następnie pokręćła CONTINUOUS (zmiana ciągła)
- SIGNAL** – wejście, do którego podłączamy bezpośrednio wyjście z detektora
- PREAMPLIFIER POWER SUPPLY** – wejście, do którego podłączamy przedwzmacniacz
- REFERENCE** – wejście sygnału referencyjnego (wyjście z modulatora).

Dokładność pomiaru długości fali

Przykładowy odczyt wyniku ze skali monochromatora SPM-2



Górna skala – długość fali w μm .

Dolna skala – szerokość szczeliny w mm

Przy szczelinie 1mm: przedłużenie

podziałek skali dolnej (czerwone linie),
odpowiadające szerokości szczeliny 1mm,
odcina na skali górnej $\pm 30\text{nm}$

Przy szczelinie 1mm: $(1200 \pm 30)\text{nm}$

Przy szczelinie 0.5mm: $(1200 \pm 15)\text{nm}$

Przy szczelinie 0.1mm: $(1200 \pm 3)\text{nm}$

Przy szczelinie x mm: $(1200 \pm x \cdot 30)\text{nm}$

Uwaga: *niepewność* = *dokładność* / $\sqrt{3}$