Pracownia fizyczna i elektroniczna dla Inżynierii Nanostruktur oraz Energetyki i Chemii Jądrowej,

Ćwiczenie 1

Prawo Ohma dla przewodnika oraz graficzna prezentacja wyników pomiarowych.

Cel

Wyniki pomiarów wielkości fizycznych zwykle prezentowane są na wykresach. Celem tego ćwiczenia jest opanowanie podstaw posługiwania się wybranym oprogramowaniem do sporządzania wykresów naukowych oraz wykonanie serii pomiarów prądu I płynącego przez przewodnik elektryczny w funkcji napięcia U panującego między końcami tego przewodnika i sprawdzenie słuszności prawa Ohma dla przewodnika (opornika elektrycznego) oraz odstępstwa od tego prawa dla świecącej żarówki. Wyniki pomiarów I = f(U) będą przedstawiane na wykresach. Następnie do punktów pomiarowych na wykresach zostaną dopasowane funkcje "najlepiej" opisujące wyniki pomiaru. Na ich podstawie zostanie wyznaczona wartość oporności elektrycznej mierzonego opornika oraz wykładnik funkcji potęgowej I = f(U) dla żarówki. Poznane zostaną laboratoryjny zasilacz regulowany prądu stałego, miernik uniwersalny Brymen 805 oraz oprogramowanie Scidavis do sporządzania wykresów.

Wstęp

Zgodnie z **prawem Ohma** różnica potencjałów *U*, czyli napięcie elektryczne, między dwoma końcami przewodnika jest proporcjonalne do natężenia *I* prądu płynącego przez przewodnik, czyli

$$U = RI$$

gdzie współczynnik proporcjonalności R zwany jest **oporem** lub **opornością** przewodnika. Jednostką oporności w układzie SI jest 1 Ohm (1 Ω). Opór jednorodnego przewodnika w kształcie drutu o jednakowym przekroju wzdłuż całej jego długości L jest proporcjonalny do długości L drutu i odwrotnie proporcjonalny do pola jego przekroju poprzecznego S

$$R = \rho \frac{L}{S}.$$

Wielkość ρ nazywamy **opornością właściwą** i wyrażamy ją w jednostkach $\Omega \cdot m$. Zależy ona od rodzaju materiału, z jakiego wykonany jest opornik i od temperatury.

Układ pomiarowy

Do dyspozycji masz:

- dwa mierniki uniwersalne Brymen 805 (Rysunek 1);
- przewody łączeniowe z końcówkami;
- płytkę drukowaną z gniazdami służącą do połączenia obwodu (Rysunek 2),
- oporniki o opornościach około 1 k Ω ,
- regulowany zasilacz stałego napięcia;

Rys. 1. Widok miernika uniwersalnego Brymen 805. Miernik służy m.in. do pomiaru napięcia stałego lub zmiennego, natężenia prądu stałego lub zmiennego oraz oporności elektrycznej. 4 gniazdka u dołu służą do podłączania miernika do obwodu pomiarowego. Do pomiaru napięcia i oporności miernik podłącza się korzystając z gniazdek COM (wspólne) i ΩV , do pomiaru natężenia prądu o wartościach do 400 mA z gniazdek COM i mA, albo o wartościach do 10A z gniazd COM oraz A. **Nie wolno** do pomiarów napięć korzystać z gniazd mA ani A – amperomierz ulegnie uszkodzeniu !





Rys. 2. Widok płytki podłączeniowej do łączenia obwodów dla badania praw Ohma i Kirchoffa. Przerwy w obwodzie, zaznaczone jako R1, R2 oraz R3, to miejsca, gdzie można wpiąć oporności, zaś przerwy z1 do z7 służą do wpinania zworek pozwalających uzyskać połączenia szeregowe lub równoległe tych oporów lub do przyłączania mierników. Punkty E– oraz E+ to miejsce przyłączenia zasilania.

Wykonanie ćwiczenia

- 1. Korzystając z omomierza zmierz oporności otrzymanych oporników.
- Korzystając z woltomierza stałego napięcia zmierz napięcie uzyskiwane z regulowanego zasilacza stałego napięcia i zobacz, w jakim zakresie może być zmieniane napięcie wyjściowe z zasilacza.
- 3. Przy użyciu kabli z końcówkami "bananowymi" oraz otrzymanej płytki montażowej podłącz opornik do wyjścia zasilacza.
- 4. Podłącz równolegle do opornika woltomierz Brymen 805 i zmierz napięcie na oporniku. Następnie podłącz do opornika szeregowo amperomierz drugiego miernika Brymen 805 i zmierz natężenie prądu płynącego przez opornik. Przed podłączeniem mierników ustaw odpowiednio przełączniki obrotowe i wybierz odpowiednie gniazdka podłączeniowe w miernikach. Pamiętaj, że omyłkowe podłączenie amperomierza równolegle do źródła napięcia powoduje uszkodzenie amperomierza – być może jedynie spalenie bezpiecznika, jeśli amperomierz jest nim zabezpieczony (Brymen 805 jest, ale wymiana bezpiecznika to ~10min). Zawsze odłączaj miernik od obwodu przed planowaną zmianą ustawienia miernika woltomierz – amperomierz !
- 5. Powtarzaj pomiary z punktu 4 dla różnych napięć zasilania w zakresie 0.1-15 V.
- 6. Przedstaw w programie Scidavis wyniki pomiaru na wykresie I = f(U) gdzie: U napięcie mierzone na oporniku, I prąd płynący przez opornik. Czy punkty pomiarowe układają się wzdłuż linii prostej? Wyznacz równanie prostej y = a · x + b dopasowanej do punktów pomiarowych korzystając z funkcji z menu Analysis →Quick Fit →Fit Linear programu Scidavis. Ze współczynników równania tej prostej odczytaj wartość oporności opornika. Porównaj tę wartość ze zmierzoną omomierzem.

Program Scidavis posiada możliwość dopasowania zależności funkcyjnych "najlepiej" oddających przebieg punktów z pomiaru. Wykorzystuje do tego metodę najmniejszych kwadratów (zwaną też metodą regresji), czyli dla funkcji wybranego przez nas typu (np. funkcja liniowa, wielomian stopnia n, ...) program dobierze takie wartości współczynników tej funkcji, aby jej wykres był "najmniej odległy" od wszystkich punktów pomiarowych. Metodę najmniejszych kwadratów poznasz szczegółowo na wykładzie ze *Wstepu do analizy danych*.

7. Podobne pomiary I = f(U) przeprowadź dla żarówki. Zacznij zasilać żarówkę od napięć około 0.2V, zwiększaj napięcie zasilające kolejno o ok. 0.2V do wartości ok. 2V, a następnie o ok. 0.5-1V do napięcia ok. 6-10V (zależnie od użytego typu żarówki). **Ważna uwaga:** Nie przekrocz napięcia maksymalnego podanego przez osobę prowadzącą ćwiczenie (żarówka wtedy już mocno świeci), aby nie spalić żarówki.

- 8. Przedstaw na wykresie punkty pomiarowe I = f(U) dla żarówki. Czy układają się one na linii prostej? Czy umiesz wskazać przyczynę takiego przebiegu punktów?
- 9. W programie Scidavis w tabeli wartości z pomiarów dla żarówki utwórz dwie nowe kolumny dla danych liczbowych – użyj komendy Insert Empty Columns albo Add Columns z menu kontekstowego kolumny danych. Wpisz do nowych kolumn wartości logarytmu napieć i logarytmu pradów zmierzonych dla żarówki. Należy skorzystać z zakładki Formula tabeli danych oraz dostępnej tam funkcji log10(col("1")), która wstawi do wybranej nowej kolumny wartości logarytmu dziesiętnego liczb z kolumny "1" (i podobnie aby wstawić logarytmy wartości z kolumny "2" należy wpisać *log10*(col("2"))). Wcześniej wybierz i usuń puste końcowe wiersze tabeli (komenda Remove Rows z menu kontekstowego dla numeracji wierszy tabeli), aby wykorzystując funkcję log10, dotyczącą całej kolumny, nie liczyć wartości logarytmu dla pustych komórek tabeli (prowadzi to do błędu). Dla większej czytelności tabeli możesz zmienić nazwy kolumn tabeli w zakładce Description. Sporzadź z tych danych nowy wykres log I w funkcji log U. W tym celu trzeba nową kolumnę log U zdefiniować komendą Set Columns As (z menu kontekstowego nagłówka kolumny) jako kolumnę zmiennej X oraz podobnie kolumnę log I jako zmienną Y, a następnie wybrać kolumnę log I i wykonać komende Plot→Scatter. Czy teraz punkty leżą w przybliżeniu na prostej? Dopasuj linie prostą do punktów log I w funkcji log U, jak poprzednio. Na podstawie tak uzyskanego równania prostej znajdź postać zależności I = f(U) dopasowanej do punktów pomiarowych dla żarówki.
- 10. Wykresy i dopasowania z punktów 6-9 powinny znaleźć się w sprawozdaniu z tego ćwiczenia. Staraj się zachować **krótką formę sprawozdania**, ograniczając treść opisową do celu ćwiczenia, podania wykorzystanej aparatury, krótkiego opisu metody pomiaru, skupiając się głównie na starannym wykonaniu wykresów i dopasowań funkcji do pomiarów. Sprawozdanie podsumuj krótkimi wnioskami na temat tego, co wynikło z pomiarów i wykonanych dopasowań funkcji.

Opis programu Scidavis do rysowania wykresów danych i funkcji

Istnieje wiele pakietów oprogramowania do sporządzania wykresów zależności fizycznych oraz analizy danych pomiarowych. Obszerna lista takiego oprogramowania znajduje się np. tutaj: http://en.wikipedia.org/wiki/List of information graphics software

Dobrymi reprezentantami oprogramowania do rysowania wykresów dwuwymiarowych, czyli zależności typu y = f(x), lub trójwymiarowych z = f(x, y), są programy Gnuplot oraz SciDAVis, dostępne na licencjach typu freeware. Nie ustępują one pod względem podstawowej funkcjonalności popularnym lecz drogim pakietom typu Origin, IgorPro, SigmaPlot, EasyPlot czy QtiPlot. Znane pakiety MS Excel czy Calc z OpenOffice nie są specjalizowane dla grafiki naukowej.

Zasady pracy z programami do graficznej prezentacji wyników pomiarowych poznamy na przykładzie programu Scidavis. Jest on dostępny do pobrania (doradzamy wersję **1.D5** z dn. 21.3.2014) na stronie: <u>http://scidavis.sourceforge.net/</u> - wersje dla systemów Windows, Linux i Mac OS X.

Jest tam również podręcznik online – literatura poz. [1]. Angielski podręcznik napisany przez autorów programu można pobrać m.in. pod adresem: <u>http://www.fuw.edu.pl/~tomslu/Scidavis-manual.pdf</u> (plik 8MB). W poniższej instrukcji przedstawiamy podstawowe informacje pozwalające efektywnie rozpo-cząć pracę z programem Scidavis. Program oferuje dużo więcej możliwości, niż te najprostsze podane.

Instalacja programu Scidavis pod systemem Windows

Scidavis korzysta z języka Python (<u>http://www.python.org</u>) i biblioteki Python-a powinny zostać zainstalowane przed instalacją Scidavis-a. Program Scidavis w wersji 1.D5 wymaga wersji Pytona 2.7 (nie starszej i nie nowszej) dostępnej tutaj: <u>http://www.python.org/download/releases/2.7/</u>. Po instalacji Python-a (z pliku python-2.7.msi) oraz po instalacji Scidavis-a w wersji 1.D5 (np. <u>http://sourceforge.net/project/platformdownload.php?group_id=199120&sel_platform=8193</u>) do katalogu zawierającego Scidavis-a należy skopiować bibliotekę python27.dll. Wersje instalatora Scidavis 1.D dla Windows dostępne od stycznia 2014 samodzielnie pobierają z Internetu i instalują

odpowiednie biblioteki Python-a, jeśli komputer jest podłączony do Internetu.

Metoda sporządzania wykresu w programie Scidavis

Dane liczbowe (x_i, y_i) do przedstawienia na wykresie, gdzie indeks *i* numeruje kolejne pomiary, są wpisywane jako kolumny X, Y w tabelę liczb (Table) tworzoną z menu File \rightarrow New \rightarrow New Table. Po wpisaniu wartości (x_i, y_i) w dwie kolumny tabeli należy zdefiniować znaczenie każdej kolumny – jako zawierającą zmienną niezależną (X), zależną (Y) lub ew. wartość błędu (niepewności) zmiennej X (X Error) lub zmiennej Y (Y Error) – Rys. 3. Aby to zrobić należy kliknąć prawym przyciskiem myszy na nagłówku kolumny – rozwinie się menu kontekstowe z takim wyborem – Rys. 3. Warto już na wstępie zaznaczyć, że metoda menu kontekstowego (prawy klawisz myszy) jest szeroko

wykorzystywana w programie dla wyboru opcji związanych z danym klikniętym elementem Tabeli czy Wykresu. Doradzamy studentom samodzielne klikanie w trakcie czytania tego mini-przewodnika.



Rys. 3.

Tabela danych z rozwiniętym menu kontekstowym (prawy klawisz myszy) dla zdefiniowania znaczenia kolumn liczb.

W tabeli można zmieniać nazwy kolumn (zakładka Description). Można dodawać nowe kolumny (Insert Empty Columns, Add Columns) dla wpisania np. drugiej zmiennej zależnej Y2 dla wartości zmiennej niezależnej X, dla wpisania drugiej zmiennej niezależnej X2 lub dla niepewności wartości X lub Y rysowanych potem na wykresie. Nowe kolumny będą mogły być wykorzystane np. dla narysowania drugiej linii na wspólnym wykresie albo dla przeliczeń wartości do robionego wykresu. Kolumnę można wypełnić wartościami samemu zdefiniowanej funkcji (zakładka Formula). Może to być funkcja wartości z innych kolumn np. 2*col("1")-3*col("2")+ sin(col("3")). U dołu zakładki Formula jest

pomocnik do wpisywania funkcji, pokazujący dostępne do użycia funkcje matematyczne. Szczegóły podane są w podręczniku – literatura poz. [1], [2], [3].

W tabeli należy jeszcze określić dla każdej kolumny typ zmiennej – w zakładce Type – jako Numeric, Text (kolumna tekstowa - nie będzie traktowana jako liczby, czyli nie można jej wykreślać) lub jako data kalendarzowa.

Mając wypełnione kolumny danych i zdefiniowane znaczenia kolumn, podstawowy wykres **z** zaznaczonej kolumny Y tworzy się z menu Plot->Line (rysowana jest linia łącząca kolejne punkty danych (x, y)), Plot->Scatter (rysowane są tylko punkty danych) lub Plot->Line + Symbol (rysowana jest linia i punkty danych przedstawione wybieralnym symbolem graficznym) – Rys. 4. Można też użyć menu kontekstowego nagłówka kolumny Y – Rys. 5.



Rys. 4.

Sposób utworzenia wykresu złożonego z punktów (x, y) poprzez wybór z menu głównego Plot \rightarrow Scatter.



Rys. 5.

Tworzenie wykresu z danych tabeli poprzez menu kontekstowe kolumny.

Właściwości utworzonego wykresu – Rys. 6 - można zmieniać poprzez menu kontekstowe wykresu lub jego elementów. Dwukrotne kliknięcie lewym klawiszem na elementach wykresu również pozwala

zmieniać wiele graficznych cech wyświetlania danych lub całego wykresu. Można w ten sposób określać rodzaj, wielkość i kolor symboli punktów danych, rodzaj linii łączącej punkty, jej grubość i kolor, właściwości i opisy osi OX, OY, także narysować osie u góry i po prawej stronie wykresu, można też zmieniać wielkość wykresu i wiele innych własności graficznych. Wiele opcji zmieniających wygląd ramki i osi wykresu znajduje się w menu kontekstowych skali wykresu Scale... oraz Properties.... Z menu kontekstowego wykresu przez wybór Export→Window można cały wykres wyeksportować do pliku graficznego np. *.bmp, *.png (aby potem wstawić do opisu ćwiczenia wykonywanego np. w programach MS Word lub Writer w Open Office) lub przez Copy→Window skopiować jako bitmapę do schowka windowsowego. Wyeksportować rysunek można też z menu głównego File→Export Graph albo z menu kontekstowego strony (obszar poza ramką wykresu) Export Page....

Dla bardziej złożonego przedstawiania danych można używać warstw rysunku (Add Layer z menu kontekstowego okna wykresu), które np. mogą zawierać inne wykresy lub dodatkowe skale z inną jednostką.



Rys. $\overline{6}$.

Wykres typu Line + Symbol utworzony z danych tabeli. Linia łącząca punkty nie reprezentuje żadnej konkretnej funkcji, a jedynie łączy odcinkami kolejne punkty danych – prowadzi wzrok.

Program Scidavis pozwala także rysować wykresy funkcji y = f(x) określanej wzorem matematycznym. Aby otworzyć okienko definiowania funkcji należy wybrać z menu Graph opcję Add

Function..., a następnie w otwartym okienku dialogu – Rys. 7 - wpisać wzór funkcji w ramce f(x) = 0zakres zmiennej From x=, To x= oraz ilość punktów Points tworzących wykres funkcji. Składnia definiowania funkcji f(x) = to proste wyrażenia zapisane tekstem: 4 działania i nawiasy: +, -, *, /, ()np. (2*x-1)/(3*x+2)potęgowanie, pierwiastek 2-stopnia: ^, sqrt() np. $sqrt(x^2+1)$ exp(-3.5*x)+2.5*log(x+1)eksponent i logarytm: exp(), ln(), log() np. funkcje trygonometryczne: sin(), cos(), tg(), ctg() np. $x+\sin(x+x^2)$ liczby niewymierne: pi, e np. $sin(2*pi*x)+e^{(-1)}$ oraz inne wyrażenia matematyczne wg. opisu w podręczniku [1], [2], [3]. Wykres funkcji można dodać do rysunku również poprzez menu kontekstowe rysunku Add Function...



Rys. 7.

Okno dla definiowania funkcji oraz przykładowe wykresy. Legenda podaje wzory rysowanych funkcji.

Ważną cechą programów graficznego przedstawiania wyników pomiarowych są możliwości analizy matematycznej danych. Z wielu dostępnych możliwości na tym etapie nauki wybieramy tylko dopasowanie określonego typu funkcji do danych z pomiaru. Na przykład, jeśli spodziewamy się, że jakiś model matematyczny, czyli jakaś konkretna funkcja, powinien opisywać mierzone zjawisko, to możemy próbować dopasować do punktów z pomiaru właśnie funkcję tego rodzaju. To znaczy chcemy tak dobrać współczynniki wybranej funkcji, aby jej wykres jak najlepiej oddawał przebieg zmienności danych z pomiaru. Kryterium, co to znaczy "jak najlepiej" jest określone jako minimum sumy kwadra-tów odległości (wzdłuż osi OY) wszystkich punktów pomiarowych od wykresu dopasowywanej funkcji. Metoda taka nazywa się metodą najmniejszych kwadratów (także metodą regresji). Jej zdefiniowanie i wzory obliczeniowe zostaną przedstawione np. na wykładzie ze *Wstępu do analizy danych*.

Przykład zastosowania metody najmniejszych kwadratów w programie Scidavis przedstawia Rys. 8. W tym przykładzie chcemy znaleźć funkcję wielomianową 2-go stopnia (czyli współczynniki trójmianu kwadratowego), która najlepiej opisuje punkty pomiarowe z Rys. 6. Mając wyświetlony wykres, z menu głównego wybieramy Analysis→Quick Fit→Fit Polynomial..., a następnie w oknie dialogowym

wybieramy do których danych chcemy "dofitować" wielomian (Table1_2 - kolumna 2 z Table1), stopień wielomianu (może być np. funkcja liniowa), zakres zmiennej Xmin … Xmax, kolor linii funkcji wielomianowej na wykresie, a także czy ma być wyświetlana na wykresie legenda z opisem dopasowanej funkcji. Po wykonaniu dopasowania program wyświetli osobne okno z wynikiem dopasowania, czyli m.in. ze współczynnikami wielomianu najlepiej pasującego do danych. Dla często stosowanego dopasowywania funkcji liniowej program Scidavis oferuje szybszą ścieżkę: Analysis→Quick Fit→Fit Linear i od razu pojawia się okno wyników oraz linia prosta dopasowania na wykresie. Z okna wyników dopasowania można odczytać wartości współczynników dopasowanej funkcji.

Program Scidavis oferuje dopasowania kilku najczęściej stosowanych funkcji (Analysis→Quick Fit i dalej dostępne tam funkcje) lub dopasowanie funkcji definiowanej przez użytkownika i o ilości parametrów także określanej przez użytkownika (Analysis→Fit Wizzard...). Ta druga możliwość nie zawsze jednak prowadzi do dobrego rezultatu, bo dopasowywanie dowolnych funkcji z wieloma parametrami jest nie zawsze zbieżną procedurą. Wobec tego dla funkcji innych niż np. wielomianowa, typu Gaussa, eksponencjalna itp., często najlepsze rezultaty można osiągnąć dobierając parametry funkcji ręcznie i rysując kolejne przybliżenia funkcji na wspólnym wykresie z punktami pomiarowymi.



Rys. 8.

Dopasowanie funkcji kwadratowej (czerwona linia na wykresie) do punktów pomiarowych z Rys. 6.

Literatura dot. programu Scidavis

[1] podręcznik online (wer. angielska): <u>http://scidavis.sourceforge.net/manual/</u>

[2] wersja pdf podręcznika (wer. ang.) (plik 8MB) jest dostępna tutaj:

http://sourceforge.net/projects/scidavis/files/

lub kopia tutaj: http://www.fuw.edu.pl/~tomslu/Scidavis-manual.pdf

[3] polskie tłumaczenie podręcznika (udostępnione darmowo przez tłumacza p. R. Wiśniewskiego), wersja pdf (3MB) dostępna tutaj: <u>http://www.fuw.edu.pl/~tomslu/Polski-opis-SciDAVis.pdf</u>