Pomiary wspomagane komputerowo

Henryk Szydłowski

Wydział Fizyki UAM, Poznań

Streszczenie: Przedstawiono cele i metody pomiarowe komputerowo wspomaganych doświadczeń w fizyce. Omówiono podstawy przetwarzania analogowo-cyfrowego, ogólną charakterystykę interface'ów, przykłady pomiarów elektrycznych. Wyniki pokazano na przykładzie prawa Faradaya indukcji elektromagnetycznej. Pokrótce opisano przykłady pomiarów innych wielkości fizycznych.

Computer-aided experiments

Abstract: The aims and methods of computer-aided experiments in physics are presented. Basis of the analog-digital conversion, general features of interfaces, examples of electrical measurements are discussed. In particular, the Faraday induction law is illustrated. Examples of the measurements, like distance via ultrasounds are discussed as well.

1. Wstęp

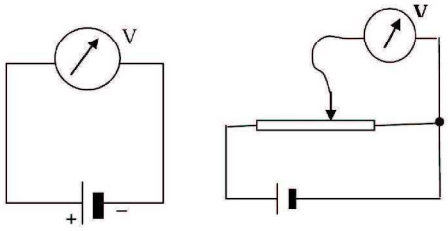
Komputery na dobre zawitały do Polski zaledwie przed około 30 laty. A dziś są już wszechobecne w badaniach naukowych, fabrykach, urzędach, w sklepach i w prywatnych domach. Stanowią konkurencję dla tradycyjnych książek, poczty, telefonii. Nawet zastępują kino i teatr oraz kolorowanki dla dzieci.

Warto jednak pamiętać, że wielka rewolucja informatyczna ma swoje źródło i początek w badaniach naukowych i wielkich programach badawczych typu podbój kosmosu czy budowa wielkich akceleratorów i zderzaczy. To wielkie programy podboju kosmosu przyczyniły się do szybkich postępów elektroniki opartej na półprzewodnikach, obwodach scalonych i doprowadziły do niezawodności sprzętu elektronicznego. Z kolei wielkie zderzacze cząstek elementarnych przyczyniły się do niebywałego rozwoju komputerowo wspomaganej techniki pomiarowej i analizy danych. Powszechnie dziś używane strony www powstały w CERN-ie wraz z wielkim zderzaczem elektronów LEP, poprzednikiem uruchamianego obecnie wielkiego zderzacza hadronów LHC.

Praca zawiera podstawowe informacje niezbędne do komputerowo wspomaganego eksperymentu przyrodniczego.

2. Przetwarzanie analogowo-cyfrowe

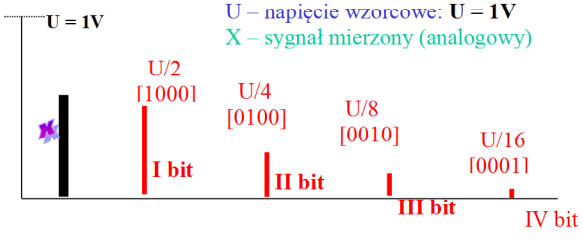
Tradycyjne przyrządy pomiarowe są przyrządami analogowymi, to znaczy takimi, których wskazania mogą zmieniać się w sposób ciągły, i można odczytać dowolnie dokładnie ich wskazania. Oczywiście w praktyce istnieje ograniczenie dokładności do najmniejszej działki na skali przyrządu (niepewność wzorcowania [1]). Wskazanie miernika analogowego nie jest „zrozumiałe" dla komputera i musi być przetransformowane na zapis cyfrowy stosowany w komputerach.



Rys. 1. Pomiar napięcia woltomierzem analogowym: a) pomiar napięcia ogniwa, b) pomiar napięcia zmienianego za pomocą potencjometru.

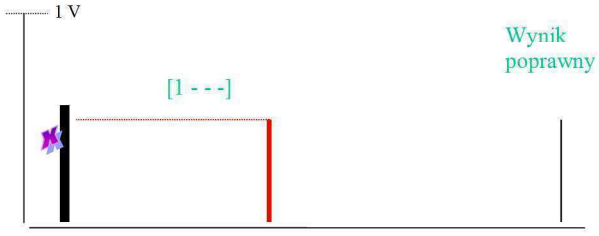
Sygnał napięcia mierzony woltomierzem jest sygnałem analogowym. Do przetwarzania tego sygnału służy elektroniczny przetwornik analogowo cyfrowy (a-c). Jego działanie wyjaśnimy na przykładzie przetwornika czterobitowego. Istota przetwarzania sprowadza się do porównania mierzonego sygnału z napięciem wzorcowym wytwarzanym przez przetwornik. Wzorcem jest napięcie jednego wolta oraz wartości odpowiadające ułamkowym częściom wolta: $1/2, 1/4, 1/8, \ldots$, co ogólnie możemy zapisać w postaci $U/2^n$, gdzie $n = 1, 2, 3, \ldots$ jest liczbą bitów. Te ułamkowe wartości napięcia w dalszym ciągu pracy nazwiemy roboczo wzorcami wtórnymi.

Rysunek 2 ilustruje przetwarzanie czterobitowe. Po lewej stronie cienką linią pionową zaznaczono napięcie wzorcowe o wartości $U = 1$ V. Czarną grubą linią oznaczono napięcie mierzone X. Kreską o wysokości $U/2$ oznaczono pierwszy wzorzec wtórny o napięciu $U/2$. Ta wartość jest zakodowana cyfrą 1 w pierwszym bicie czterobitowego zapisu cyfrowego [1−−−]. Wartość mierzona napięcia dokładnie równa $U/2$ w zapisie cyfrowym wyrażałaby się w postaci [1000]. Druga kreska – o wysokości $U/4$ – oznacza drugi wzorzec wtórny a zarazem drugi bit zapisu cyfrowego. Napięcie mierzone równe dokładnie $U/4$ zapisujemy w postaci [0100]. Podobnie napięcie $U/8$ odpowiadające trzeciemu bitowi zapiszemy w postaci [0010], a napięcie $U/16$ odpowiadające czwartemu bitowi w postaci [0001].



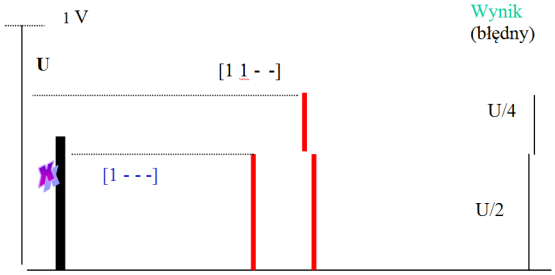
Rys. 2. Napięcia odpowiadające kolejnym bitom zapisu cyfrowego.

Pomiar napięcia X przebiega następująco: Wynik X jest porównywany z wtórnym wzorcem napięcia odpowiadającym $U/2$. Jeżeli zachodzi $X > U/2$, to pierwszemu bitowi przypisujemy wartość 1, jak na rysunku 3. Ten wynik ilustruje linia pionowa po prawej stronie rysunku.



Rys. 3. Ustalanie pierwszego bitu wyniku pomiarowego.

Po ustaleniu pierwszego bitu jest wytwarzany nowy wzorzec równy sumarycznemu napięciu odpowiadającemu pierwszemu i drugiemu bitowi, czyli $U/2 + U/4$. Napięcie takie w zapisie cyfrowym ma postać [11−−]. Jak widać na rysunku 4 zachodzi $X < U/2 + U/4$, co oznacza, że owo sumaryczne napięcie $U/2 + U/4$ jest za duże i wynik [11−−] jest błędny. Wobec powyższego drugi bit ma wartość zero i nasz poprawny zapis pierwszych dwóch bitów jest następujący [10−−].

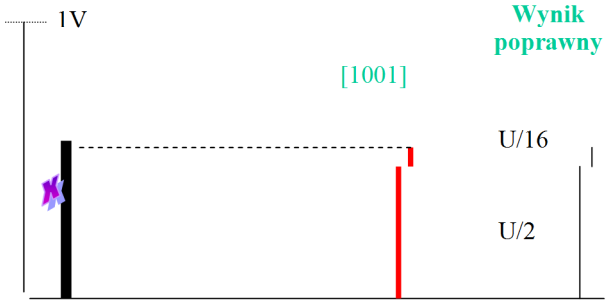


Rys. 4. Ustalenie drugiego bitu pomiaru napięcia X.

Trzeci bit ustalamy w podobny sposób dobierając w naszym przykładzie pomiaru napięcia nieznanego X wzorzec równy sumarycznemu napięciu odpowiadającemu sumie sygnałów pierwszego i trzeciego wzorca wtórnego, czyli $U/2 + U/8$, co zapiszemy cyfrowo w postaci [101−]. W tym przypadku, podobnie jak dla drugiego bitu, zachodzi $X < U/2 + U/8$, co oznacza, że owo sumaryczne napięcie $U/2 + U/8$ jest za duże i tak zapisany wynik jest błędny. Jest to sytuacja podobna jak w przypadku drugiego bitu, wobec czego trzeci bit ma wartość zero i nasz poprawny trójbitowy zapis jest następujący: [100−].

W podobny sposób ustala się czwarty bit wyniku. Dobieramy wzorzec równy sumarycznemu napięciu odpowiadającego pierwszemu i czwartemu bitowi, tj. $U/2 + U/16$, czyli w zapisie cyfrowym jest [1001] (rys. 5). Teraz zachodzi $X > U/2+U/16$, co oznacza, owo sumaryczne napięcie $U/2 + U/16$ nie przekracza wartości sygnału mierzonego, wobec czego czwarty bit ma wartość jeden i poprawny wynik pomiaru napięcia X w zapisie czterobitowym jest następujący: **[1001]**.

W przypadku większej liczby bitów przetwarzanie zachodzi w podobny sposób. Zauważmy, że wynik cy-



Rys. 5. Ustalanie czwartego bitu wyniku pomiaru napięcia X.

frowy [1001] ma wartość nieco mniejszą od sygnału mierzonego. Gdyby wynik był dopasowany za pomocą przetwornika o większej liczbie bitów, wtedy dopasowanie byłoby lepsze. Jednak regułą jest, że wynik cyfrowy przybliża analogową wielkość mierzoną z dołu, czyli zawsze $X \geqslant [1001----]$. Ten błąd odpowiada niepewności wzorcowania, którą oznaczamy ΔX i która nie przekracza najmniej znaczącego bitu:

$$\Delta x = 1/2^n,$$

gdzie $n = 1, 2, 3, \ldots$ oznacza liczbę bitów wyniku cyfrowego. Poniżej podajemy wartości niepewności wzorcowania w zależności od liczby bitów przetwornika.

$n = 4 \qquad \Delta x = 0{,}0625 = 6{,}25\%$

$n = 8 \qquad \Delta x = 0{,}039 = 0{,}39\%$

$n = 12 \qquad \Delta x = 0{,}0024 = 0{,}024\%$

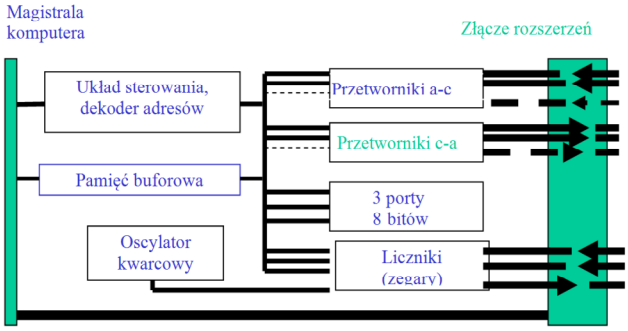
$n = 24 \qquad \Delta x = 0{,}00000006 = 6 \cdot 10^{-8} = 6 \cdot 10^{-6}\%$

Tak więc dla przetwarzania czterobitowego niepewność nie przekracza 6,25%. Jednak takiego przetwarzania nie stosuje się w praktyce. Stosuje się przetworniki co najmniej 8-bitowe, dla których niepewność przetwarzania jest mniejsza od 0,39%, czyli mniejsza od dokładności wzorcowych mierników elektrycznych, dla których wynosi ona 0,5%. Nawet do celów dydaktycznych stosuje się obecnie przetworniki 12-bitowe, dla których niepewność wzorcowania jest rzędu ułamków promila.

Zauważmy jeszcze, że poza niepewnością wzorcowania występują również inne niepewności pomiarowe, na przykład statystyczny rozrzut wyników i związana z tym niepewność przypadkowa. Jednak analiza tych niepewności nie należy do tematu artykułu.

3. Interfejsy pomiarowe [2]

Na rysunku 6 pokazano schemat budowy interfejsu równoległego, czyli takiego, który jest łączony wprost z magistralą komputera za pomocą złącza równoległego (około 50 przewodów). Na rysunku pokazano zasadnicze elementy wchodzące w skład takiego interfejsu. W poprzednim paragrafie omawialiśmy tylko jeden element – przetwornik analogowo-cyfrowy (a-c). Na rysunku 6 zaznaczono symbolicznie linią ciągłą dwa równoległe kanały pomiarowe, co oznacza możliwość niemal równoległego pomiaru dwóch wielkości. W rzeczywistości kanałów takich może być wiele, ale najczęściej w interfejsach przeznaczonych do celów dydaktycznych są cztery.



Rys. 6. Schemat budowy równoległego interfejsu z przetwornikami a-c i c-a.

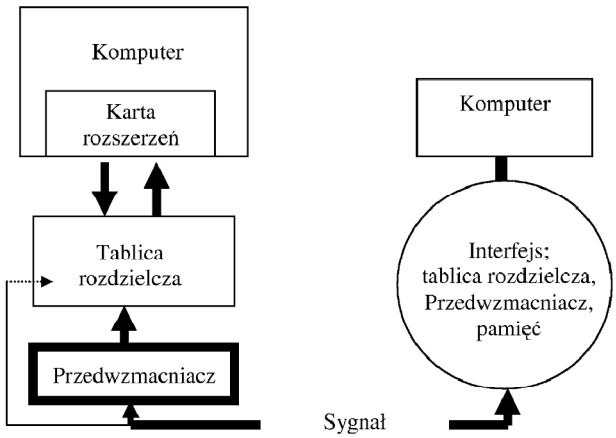
Drugim istotnym elementem stanowiącym nowość w stosunku do wszystkich tradycyjnych przyrządów pomiarowych jest obecność oscylatora kwarcowego i liczników (zegarów), które spełniają miedzy innymi funkcje sekundomierza. Za pomocą takiego interfejsu zawsze obok wielkości mierzonej mierzy się czas liczony od chwili startu, w którym dokonano pierwszego pomiaru. Oczywiście takiej możliwości nie dają tradycyjne mierniki elektryczne. Poza tymi podstawowymi elementami w interfejs wbudowane są: układ sterowania regulujący pomiary i przekazywanie wyników do komputera, oraz tak zwana pamięć buforowa przechowująca wyniki do czasu przekazania ich do magistrali komputera.

Wreszcie interfejs posiada jeszcze jeden element – przetwornik cyfrowo-analogowy. Ten element pozwala w oparciu o program komputerowy wygenerować sygnał analogowego napięcia o dowolne wartości w granicach ograniczonych jego technicznymi własnościami.

Interfejsy zazwyczaj pozwalają generować sygnały o wartości nie przekraczającej 5 V. Podobne ograniczenie dotyczy sygnału pomiarowego. Możliwości pomiarowe nie są jednak ograniczone do tego zakresu, ponieważ współczesna elektronika umożliwia precyzyjne wzmacnianie mierzonego sygnału o bardzo małych wartościach o wiele rzędów wielkości na przykład 100-krotne. Napięcia większe od 5 V można obniżyć również bardzo precyzyjnie przez zastosowanie dzielników napięć.

Poza omówionymi tu interfejsami równoległymi niemal od początku budowano interfejsy szeregowe podłączane do portu szeregowego komputera. W równoległych cały interfejs był umiejscowiony w obudowie komputera, a na zewnątrz była tylko tablica rozdzielcza do której można podłączyć kabelki stosowane w połączeniach tradycyjnych obwodów elektrycznych w laboratoriach studenckich. Również przedwzmacniacz był budowany jako oddzielny przyrząd. W interfejsach szeregowych, jak to pokazano na rysunku 7, wszystkie elementy znajdują się we wspólnej obudowie i taki interfejs jest łączony do szeregowego złącza komputera. Wadą połączenia szeregowego

jest nieco wolniejsze przekazywanie wyników pomiarowych do komputera.

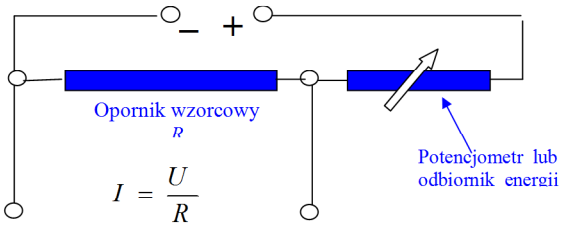


Rys. 7. Łączenie interfejsów pomiarowych z komputerem. Interfejs równoległy jest budowany w postaci karty rozszerzeń montowanej wewnątrz obudowy komputera. W interfejsie szeregowym wszystkie elementy znajdują się w oddzielnej obudowie na zewnątrz komputera.

Interfejsy pomiarowe mają jednak jedną wadę. Wszystkie kanały pomiarowe mają wspólny punkt połączony z obudową komputera (uziemienie). W niektórych pomiarach stanowi to poważne utrudnienie, które w pewnych zastosowaniach można ominąć.

4. Pomiary wielkości elektrycznych [3]

Z dotychczasowych rozważań wiemy, że komputer zaopatrzony w interfejs pomiarowy mierzy bezpośrednio napięcie elektryczne U. Natężenie prądu I możemy mierzyć pośrednio korzystając z prawa Ohma. W tym celu w szereg z odbiornikiem energii włączamy opornik wzorcowy o dobrze znanym oporze elektrycznym R jak na rysunku 8.



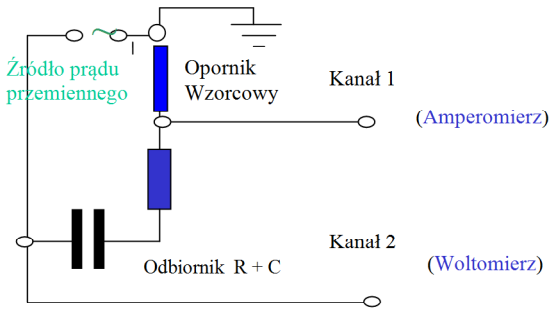
Rys. 8. Ilustracja zasady mierzenia natężenia prądu elektrycznego.

Natężenie prądu wyraża się wzorem

$$I = \frac{U}{R}.$$

Oczywiście przeliczanie dla każdego wykonanego pomiaru możemy wykonać za pomocą komputera, a nawet obliczenia te możemy włączyć do programu komputera obsługującego pomiar i wtedy wyniki pomiarów są wyświetlane w jednostkach natężenia prądu.

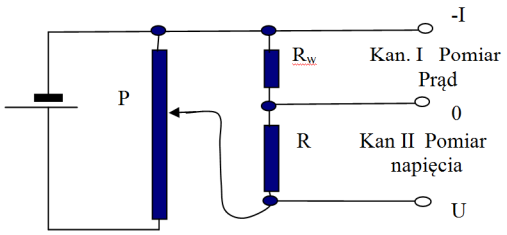
Dzięki temu, że interfejsy pomiarowe mają kilka kanałów pomiarowych, możemy mierzyć równocześnie zarówno napięcie, jak i natężenie prądu w odbiorniku energii. Stosujemy w tym celu układ pokazany na rysunku 9.



Rys. 9. Ilustracja sposobu równoczesnego pomiaru napięcia i natężenia prądu płynącego przez odbiornik (w tym przypadku szeregowo połączony opornik i kondensator).

Pomiar wielkości elektrycznych za pomocą zestawu komputerowego ma jeszcze jedną cenną zaletę. Poza wartościami wielkości elektrycznych mierzy czas, a pomiary wszystkich wielkości powtarza w odstępach czasu wybranych przez eksperymentatora. Zatem pozwala, i niejako wymusza, śledzenie (i wykreślanie) zmian wielkości mierzonych w czasie. Na ekranie monitora, jak na oscyloskopie można obserwować czasowy przebieg napięcia i natężenia prądu. Doskonale nadaje się do badania obwodów prądu przemiennego. Na przykład może uwidaczniać względne przesunięcie fazowe napięcia i natężenia prądu.

Bardzo cenne jest i to, że można przetwarzać wyniki pomiarowe. Na przykład w celu „sprawdzenia" prawa Ohma budujemy układ pokazany na rysunku 10. W obwodzie tym natężenie prądu płynącego przez opornik badany R mierzymy pośrednio ze spadku napięcia na oporniku wzorcowym R_w, a napięcie przyłożone do opornika R jako spadek napięcia na tym właśnie badanym oporniku R.



Rys. 10. Układ połączeń do wspomaganego komputerowo badania prawa Ohma.

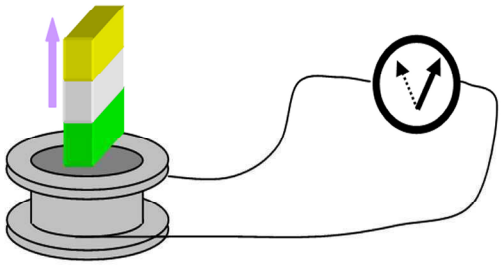
Doświadczenie polega na wykonaniu pomiarów w czasie trwania przesuwania suwaka potencjometru. Otrzymamy

tabelę wyników pomiarowych trzech wielkości: czasu natężenia prądu i napięcia. Zakładamy, że do układu pomiarowego przyłączamy zacisk połączony z masą (uziemiony) do wyjścia oznaczonego na rysunku jako 0, a zaciski pomiarowe odpowiednio do $-I$ oraz U. Zgodnie z oznaczeniem wartości prądu będą ujemne. Wystarczy wtedy wykonać wykres zależności $U(-I)$. Jest on wykresem prawa Ohma.

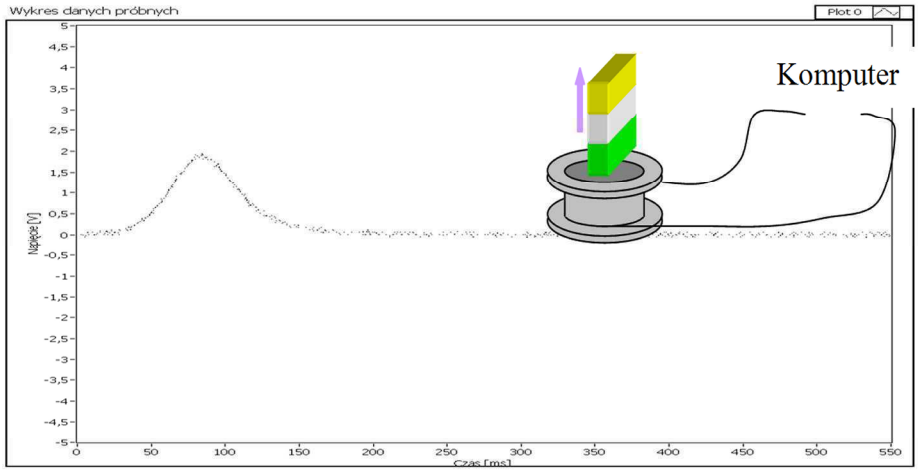
5. Doświadczenie Faradaya

Korzyści wynikające z zastosowania pomiarów wspomaganych komputerowo zilustrujemy przez przykład badania zjawiska indukcji elektromagnetycznej Faradaya. Klasyczna wersja tego doświadczenia (rys. 11) polega na obserwacji wychylenia galwanometru połączonego szeregowo z cewką przy wyjmowaniu, lub wsuwaniu magnesu do cewki. Efekt tego ruchu jest trudno zauważalny, bo wychylenie galwanometru jest bardzo krótkotrwałe i zazwyczaj małe. Takie samo wychylenie często jest spowodowane drganiami stołu (uderzenie).

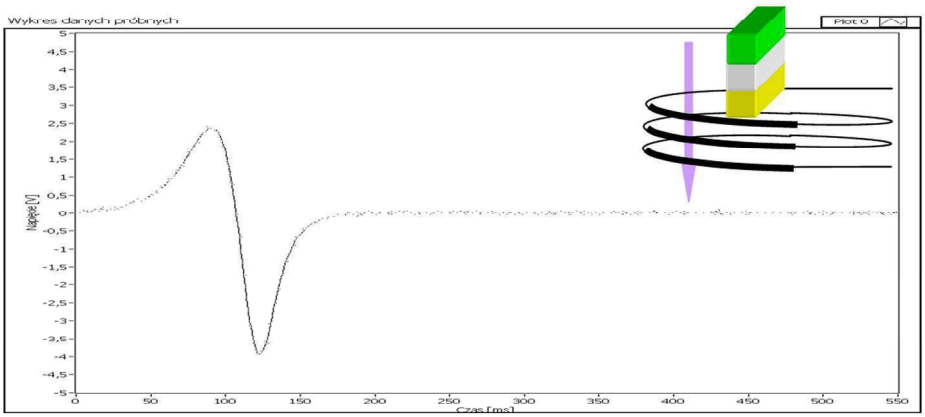
W przypadku gdy woltomierz zastąpimy zestawem komputerowym, w czasie ruchu magnesu otrzymujemy około 2000 pomiarów indukowanej siły elektromotorycznej (napięcia) i czasu. Wyniki te, dostępne również w postaci tabelarycznej, możemy nanieść na wykres zależności napięcia od czasu i otrzymamy wynik pokazany na rysunku 12. Na rysunku 13 przedstawiono podobne wyniki uzyskane w przypadku przelotu (spadku swobodnego) magnesu przez cewkę. Na wykresie widać skutki wzrastania prędkości magnesu w czasie: sygnał indukowany w czasie wchodzenia magnesu do cewki jest szerszy i niższy, niż wtedy, gdy magnes opuszcza cewkę.



Rys. 11. Tradycyjne doświadczenie indukowania prądu w cewce wskutek ruchu magnesu.



Rys. 12. Wyniki pomiaru napięcia w cewce, wykonane przy wysuwaniu magnesu z cewki, wykonane za pomocą zestawu wspomaganego komputerowo. Każdy punkt na wykresie jest wynikiem pomiarowym, a samą graficzną prezentację uzyskano również na komputerze.



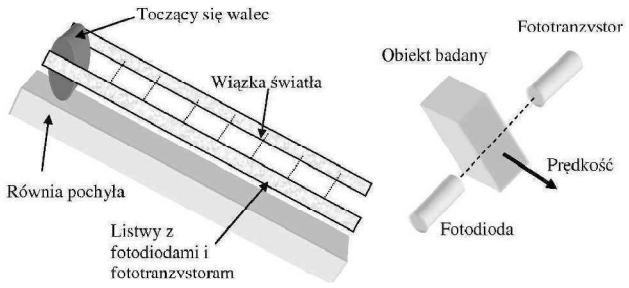
Rys. 13. Wyniki pomiaru napięcia indukowanego w czasie przelotu magnesu przez cewkę.

6. Pomiar innych wielkości fizycznych

W celu zmierzenia wielkości nieelektrycznych trzeba stosować przetworniki, które przetworzą wielkość mierzoną na napięcie elektryczne. W niektórych przypadkach jest to bardzo proste. Na przykład mikrofon przetwarza falę akustyczną na napięcie. Podobnie fotodioda lub fototranzystor pozwala przetworzyć światło na napięcie. Dysponując takimi przetwornikami wystarczy jedynie dokonać wzorcowania, to znaczy określenia przelicznika, który pozwala obliczyć wartość liczbową mierzonej wielkości z wartości napięcia wskazanego przez zestaw komputerowy. Dla niektórych wielkości na przykład dla fali akustycznej czy natężenia światła jest to dość trudnym zadaniem, ale na szczęście często wystarczą nam pomiary względne. Istnieje możliwość zakupu gotowych wzorcowanych czujników przeznaczonych do celów dydaktycznych.

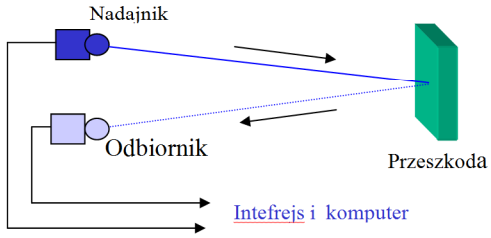
Niektóre przetworniki znalazły już szerokie zastosowania techniczne. Na przykład do pomiaru masy (a raczej ciężaru) praktycznie nie stosuje się już wag szalkowych, lecz wagi, w których siłę działającą na szalkę przetwarza się na sygnał elektryczny za pomocą przetworników piezoelektrycznych, a wynik pomiaru odczytuje się na wyświetlaczu. Te same przetworniki można wykorzystać do pomiaru siły.

Jednym z trudniejszych jest pomiar położenia. Stosuje się tu różne rozwiązania techniczne. Tradycyjnym sposobem jest stosowanie bramek świetlnych. Zasadę pokazano na rysunku 14. Pojedyncza bramka składa się z diody świecącej i fototranzystora. W stanie gotowości dioda świeci, a tranzystor odbiera sygnał z diody. W chwili przesłonięcia wiązki światła tranzystor nie rejestruje sygnału. Zarówno przesłonięcie wiązki, jak i jej odsłonięcie wykorzystuje się jako sygnał do pomiaru czasu. Wzdłuż toru ruchu wózka, lub toczenia się kulki ustawia się kilka takich bramek, otrzymując przynajmniej tyle wyników pomiarowych ile bramek zastosowano. Położenie bramek i ich wzajemne odległości trzeba zmierzyć w sposób tradycyjny, a zestaw komputerowy służy tylko do pomiaru czasu. Wadą tego rozwiązania jest nieelastyczność zestawu, który może służyć do ograniczonej liczby celów. Ponadto w ten sposób otrzymuje się małą liczbę wyników pomiarowych.



Rys. 14. Schemat budowy zestawu do badania ruchu za pomocą bramek świetlnych (strona lewa) oraz budowa pojedynczej bramki (strona prawa).

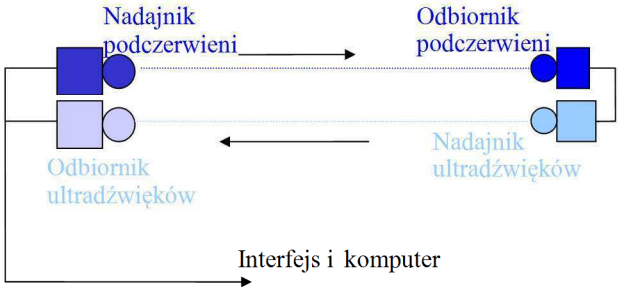
Lepszym rozwiązaniem są ultradźwiękowe czujniki położenia. Budowę czujnika odbiciowego pokazano na rysunku 15. Nadajnik ultradźwiękowy generuje impulsy fal ultradźwiękowych w równych odstępach czasu. Fala odbija się od przeszkody i wraca do odbiornika. Zestaw komputerowy mierzy czas upływający od chwili wysłania sygnału do jego powrotu. Znając prędkość fali ultradźwiękowej można obliczyć odległość przeszkody od nadajnika. Wadą czujnika jest konieczność stosowania przeszkód o dużych rozmiarach. Przeszkodą jest obiekt, którego ruch badamy. Na przykład wózek zaopatrzony w pionowo ustawioną przesłonę. Czujnik odbiciowy bywa nazywany czujnikiem jednoczęściowym, ponieważ nadajnik i odbiornik znajduje się w jednej obudowie.



Rys. 15. Zasada działania odbiciowego czujnika położenia.

Praktyczniejszy w użyciu jest dwuczęściowy czujnik położenia, pokazany na rysunku 16. Nazwa pochodzi stąd, że składa się on z dwóch części. W jednej obudowie, połączonej z komputerem znajduje się nadajnik podczerwieni i odbiornik ultradźwięków, a w drugiej – odbiornik podczerwieni i nadajnik ultradźwięków. Tę drugą część trzeba zamocować do obiektu, którego ruch badamy. Zasada działania czujnika jest następująca. Nadajnik wysyła wiązkę światła podczerwonego. Moment odbioru tej wiązki przez odbiornik podczerwieni jest sygnałem startowym dla nadajnika ultradźwiękowego. Mierzony jest czas od chwili startu generatora podczerwieni do odbioru fali ultradźwiękowej przez odbiornik ultradźwiękowy. Odległość jest obliczana w podobny sposób jak w przypadku czujnika jednoczęściowego. Zaniedbuje się czas przelotu światła, co jest uzasadnione bardzo dużą szybkością światła (300 000 km/s) w stosunku do prędkości fali ultradźwiękowej (rzędu 0,3 km/s).

Ultradźwiękowe czujniki położenia stosowane w zestawie COACH wykonują 200 pomiarów w czasie ustalo-



Rys. 16. Zasada działania dwuczęściowego ultradźwiękowego czujnika położenia.

nym przez użytkownika: od ułamków sekund do godzin, czy dni.

7. Uwagi końcowe

Z uwagi na obniżanie rangi przedmiotów przyrodniczych przypomnijmy w kilku zdaniach znaczenie takiego przedmiotu.

Fizyka z astronomią w jeszcze większym stopniu niż matematyka stanowi jedną spójną całość obejmującą wiedzę od cząstek elementarnych po cały kosmos. Nieopanowanie jednego zagadnienia uniemożliwia sukces nauczania innych tematów w większym stopniu niż w matematyce. Z tego powodu na nauczanie fizyki z astronomią należałoby przeznaczyć bardzo dużo czasu, a redukowanie liczby godzin do jednej tygodniowo uniemożliwia opanowanie tej wiedzy nawet geniuszom.

Fizyka jest podstawą wszystkich nauk technicznych, jej znajomość jest konieczna dla przyszłych lekarzy, a jej wyniki znajdują zastosowanie w innych naukach poczynając od nauk przyrodniczych aż po filozofię.

Dodajmy jeszcze, że brak wiedzy fizycznej jest jedną z ważnych przyczyn szerzenia się tak zwanej paranauki tak szkodliwej dla zdrowia (paramedycyna) czy zachowania poszczególnych ludzi (horoskopy, wróżby, radiestezja itp.). Jest więc główną przeszkodą w tworzeniu w społeczeństwie poglądu na świat zgodnego ze współczesną wiedzą.

W nauczaniu fizyki istnieje możliwość najwszechstronniejszego wykorzystania komputera jako źródła informacji, do prezentacji multimedialnych, zastosowań pomiarowych i przetwarzania danych. We wszystkich innych przedmiotach komputer znajduje mniejsze zastosowania. Z tego powodu nauczanie informatyki i fizyki z astronomią w szkole powinno być bardzo ściśle powiązane.

Kiedy na przełomie lat 80-tych i 90-tych w Poznaniu tworzyliśmy pierwsze Fizyczne Laboratorium Mikrokomputerowe myślałem, że w ciągu 10 do 20 lat techniczna rewolucja komputerowa zmieni oblicze wszystkich fizycznych laboratoriów studenckich i szkolnych z trzech zasadniczych powodów:

1. Ze względu na powszechne stosowanie komputerów w gospodarce, przemyśle i w życiu codziennym.

2. Wspomagane komputerowo pomiary dają w krótszym czasie dokładniejsze wyniki nadające się do szybkiego komputerowego przetwarzania.

3. Zestawy doświadczalne wspomagane komputerowo będą o wiele tańsze i lepsze od tradycyjnych.

Niestety tak się nie stało. Informatyka jest oddzielnym dość hermetycznym przedmiotem nauczania szkolnego. Stracono wiele środków przeznaczonych na dokształcanie nauczycieli informatyki, przy okazji zmiany nazwy przedmiotu z informatyki na technologię informatyczną itp.

Nie kontynuowano nieśmiałej próby tworzenia mikrokomputerowych pomiarów przyrodniczych w szkołach średnich i nie dokształcano nauczycieli fizyki w zakresie umiejętności wykorzystania komputera do pomiarów fizycznych.

Z tego powodu byłem i jestem przekonany, że kształcenie informatyczne powinno być ściśle związane z kształceniem z dziedziny fizyki, co ubogaciłoby samą informatykę o fizyczne, techniczne i matematyczne zastosowania komputerów.

W najbliższych latach możemy oczekiwać nowych wezwań dydaktycznych związanych z możliwością wykonywania pomiarów za pośrednictwem Internetu. Już teraz trzeba budować przystosowane do tego celu zestawy doświadczalne. Internauta może wykonać takie doświadczenie i obserwować zachodzące procesy za pomocą kamery internetowej. Otrzymuje wyniki pomiarowe zbierane przez serwer i może je przetwarzać w dowolny sposób. Trzeba pomyśleć o sposobach wykorzystania tej możliwości technicznej w nauczaniu fizyki.

Podjęto również próby innego sposobu wykorzystania Internetu w nauczanie eksperymentowania fizycznego w systemie Praktikus [4] ukierunkowanym na samodzielną pracę eksperymentalną internauty.

Literatura

[1] Henryk Szydłowski, *Niepewności w pomiarach; międzynarodowe standardy w praktyce* (Wyd. Nauk. UAM, Poznań 2001).

[2] A. Ellermeijer i współpracownicy, Instrukcje techniczne i opisy aparatury Wydawane przez Center of Microcomputer Applications Uniwersytetu w Amsterdamie.

[3] Henryk Szydłowski, *Pracownia fizyczna wspomagana komputerem* (Wyd. Nauk PWN, Warszawa 2003).

[4] Mariusz Chodór, Henryk Szydłowski, „Internetowy system Praktikus do nauczania fizyki", *Fizyka w Szkole*, nr 6 (2007), s. 21.