

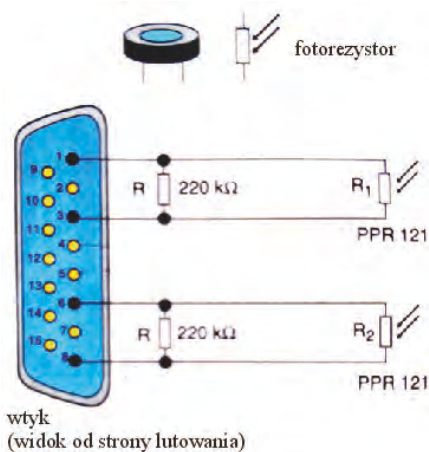
Wykorzystanie „fotodźojstika” do badania zjawisk okresowych

W artykule opiszę, jak można zmodyfikować dźojstik używany w grach komputerowych, aby zmienić go w urządzenie do pomiaru czasów zjawisk okresowych takich jak np. ruch wahadła.

Jan Kurzyk

Układ „udający” dźojstik pracujący na porcie gier

W 1994 roku w czasopiśmie „Wiedza i Życie” ukazał się artykuł o tytule „Niezwyczajny joystick”. Autor artykułu opisał w nim prosty układ elektroniczny złożony z dwóch fotorezystorów i dwóch oporników podłączonych do wtyczki typu DA15 typowej dla popularnych wówczas dźojstików (patrz rysunek 1). Układ podłączony był do



wtyczk
(widok od strony lutowania)

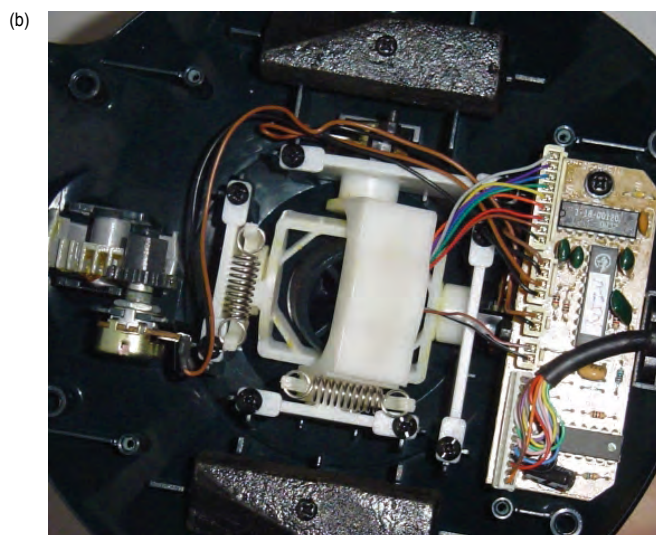
Rysunek 1. Schemat urządzenia opisanego w artykule [1].

komputera poprzez port gier (ang. gameport) i „udawał” dźojstik.

Główną funkcją dźojstika jest sterowanie położeniem obiektów na ekranie monitora. Odbywa się to poprzez poruszanie drążkiem dźojstika wokół trzech osi X, Y i Z (patrz rysunek 2 (a)). Każdemu położeniu drążka odpowiada odpowiednie ustawienie trzech potencjometrów obrotowych (patrz rysunek 2 (b)). Komputer dokonuje pomiaru oporności potencjometrów, a program komputerowy wykorzystuje zmierzone wartości do realizacji odpowiednich działań na ekranie.

W układzie z artykułu [1] rolę potencjometrów dźojstika pełniły fotorezystory. Były one oświetlone żarówkami wyposażonymi w soczewki, a same fotorezystory osłonięto tulejkami, aby maksymalnie wyeliminować światło boczne. Jeśli strumień światła padającego na fotorezystor zostanie przecięty przez poruszający się obiekt oporność fotorezystora gwałtownie rośnie. Za pomocą programu komputerowego możemy odnotować czas, w którym nastąpiła zmiana oporu.

Autor artykułu wykorzystał w swoim układzie dwa fotorezystory ustawione jeden nad drugim w odstępie, który można było zmieniać. W ten sposób układ pozwalał na pomiar czasu przelotu obiektu spadającego swobodnie na drodze pomiędzy fotorezystorami. Tak skonstruowane urządzenie autor łączył z komputerem pracującym pod systemem DOS (kto jeszcze pamięta ten system?) i za pomocą napisanego w tym celu programu komputerowego

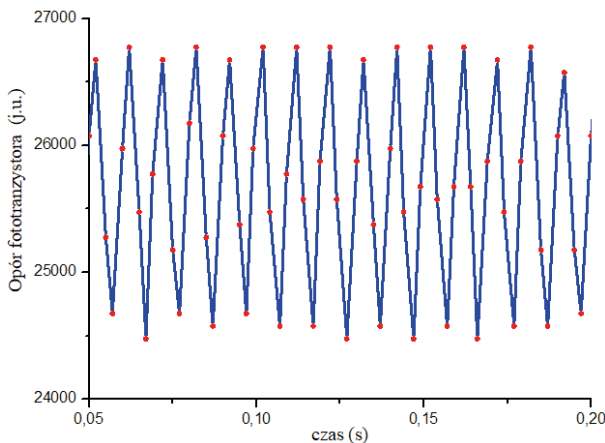


Rysunek 2. (a) Osie ruchu drążka dźojstika analogowego. (b) Widok mechanizmu dźojstika podczas maksymalnego wychylenia dźojstika w prawo i w tył (osie X i Y). <https://pl.wikipedia.org/wiki/D%C5%BCojstik> Dostęp 08.03.2021.

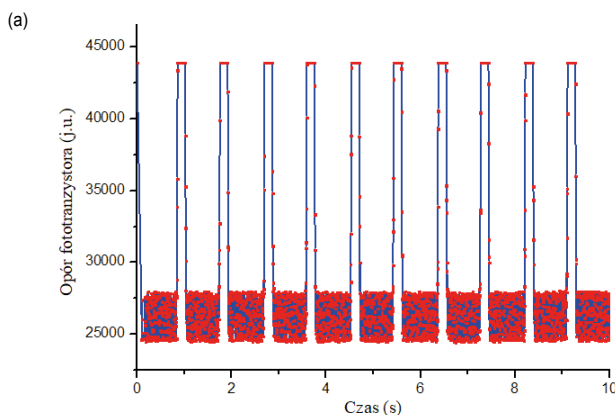
odczytywał stany obu fotorezystorów. W systemie DOS dokładność pomiarów czasu była niewielka, gdyż sprawdzanie stanu fotorezystorów możliwe było co ok. 55 ms.

W Instytucie Fizyki Politechniki Krakowskiej postanowiliśmy wykorzystać ten pomysł do pomiaru okresu drgań wahadła w wykonywanym przez studentów ćwiczeniu mającym za zadanie wyznaczenie wartości przyspieszenia ziemskiego. Ze względu na cykliczność zjawiska wystarczyło wykorzystać jeden fotoelement. Nasze pierwsze urządzenie tego typu podpięliśmy do komputera pracującego pod systemem Windows 98. Dzięki temu mogliśmy zwiększyć dokładność pomiarów. Odczyt stanu urządzenia odbywał się co 2 ms, a pomiar czasu był możliwy z dokładnością rzędu ułamka mikrosekundy.

W naszym urządzeniu fotorezystor zastąpiliśmy fototranzystorem, gdyż bezwładność czasowa fototranzystorów jest mniejsza od bezwładności fotorezystorów. Szybkość działania urządzenia i jego rozdzielczość jest tak dobra, że zbierając dane podczas oświetlenia fototranzystora światłem z żarówki zasilanej napięciem przemiennym o częstotliwości 50 Hz obserwuje się cykliczne zmiany oporu fototranzystora. Częstotliwość tych zmian wynosi 100 Hz (patrz rysunek 3) i jest związana z cyklicznymi zmianami temperatury włókna żarówki, a tym sam-



Rysunek 3. Zmiany oporu fototranzystora (w jednostkach umownych) oświetlanego żarówką zasilaną napięciem przemiennym o częstotliwości 50 Hz. Częstotliwość zmian oporu wynosi 100 Hz (patrz tekst główny).



Rysunek 4. Zmiany oporu fototranzystora (w jednostkach umownych) w sytuacji, gdy strumień światła padającego na fototranzystor jest przecinany przez kulkę wahadła. (a) Wahadło z kulką stalową o średnicy ok. 2 cm. (b) Wahadło z kulką o średnicy ok. 4 cm z przezroczystego tworzywa sztucznego.

ym jej światłości. Temperatura włókna zmienia się wraz z wartością natężenia prądu elektrycznego płynącego przez nie i oczywiście nie zależy od kierunku prądu. Dlatego temperatura włókna zasilanego napięciem przemiennym o częstotliwości 50 Hz zmienia się z częstotliwością dwa razy większą.

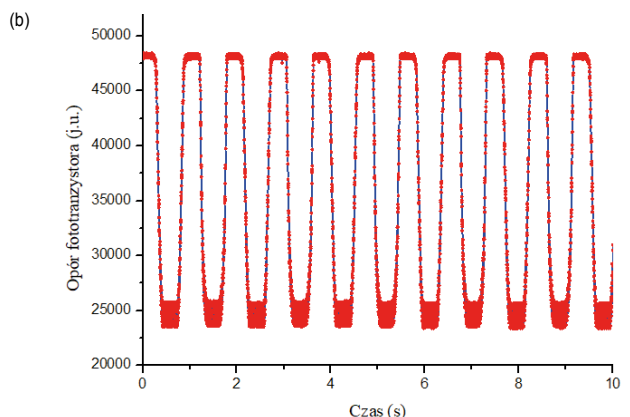
Zmiany oporu fototranzystora odpowiadające stanowi odsłoniętego i zasłoniętego źródła światła są znacznie większe od tych jakie obserwujemy podczas oświetlenia fototranzystora światłem z żarówki zasilanej napięciem przemiennym. Dlatego jesteśmy w stanie z dużą dokładnością odróżnić oba stany, bez konieczności zasilania żarówki za pomocą stabilizowanego zasilacza prądu stałego. Można się o tym przekonać przyglądając się wykresom przedstawionym na rysunku 4.

Wykresy prezentują zmiany oporu fototranzystora oświetlanego strumieniem światła przecinanym cyklicznie przez kulkę wykonującego ruch wahadła. Dolne grupy punktów pomiarowych odpowiadają sytuacji, gdy kulka nie zasłania żarówki, a górne grupy odpowiadają momentom, w których kulka zasłania ją. Widzimy, że punkty pomiarowe z dolnych grup wykazują rozpiętość wynikającą z efektu opisanego wyżej. W przypadku kulki metalowej (rysunek 4 (a)) górne grupy punktów są na jednym poziomie, gdyż kulka całkowicie zasłania źródło światła. Zaś w przypadku kulki przezroczystej (rysunek 4 (b)) górne grupy punktów również wykazują rozpiętość wywołaną efektem zmian światłości żarówki, ale zakres zmian jest mniejszy, gdyż światło przechodzi przez obiekt pochłaniając część światła.

Wykorzystanie dżojstika na złączu USB

Pod koniec lat 90. ubiegłego wieku pojawiło się złącze USB, które stopniowo wypierało inne typy złącz w tym złącze gameport. Obecnie port gier został całkowicie wyparty przez złącze USB. Na dodatek Microsoft, począwszy od systemu Windows Vista, zaprzestał obsługi portu gier, więc nawet jeśli zdobędziemy starą kartę z portem gier, to pod systemem Windows nowszym niż Windows XP nie będziemy w stanie jej wykorzystać¹. Dżojstiki obsługiwane przez port gier zostały zastąpione przez dżoj-

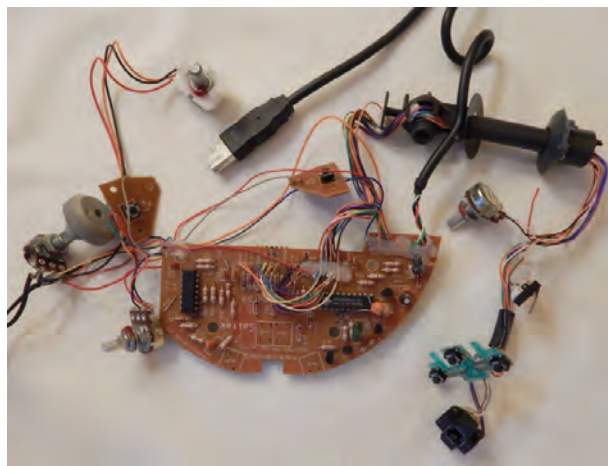
¹ Współcześnie port gier obsługiwany jest jeszcze przez system Linux



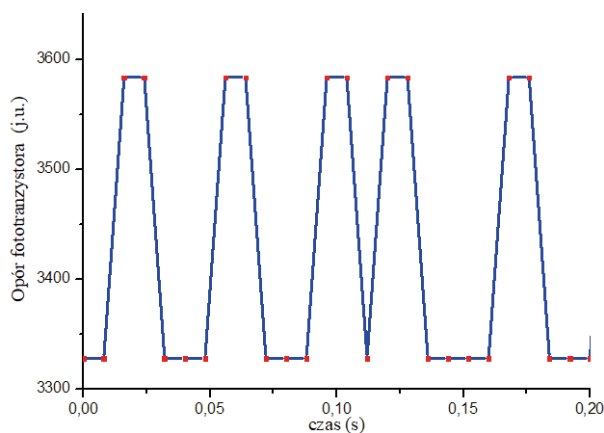
stiki działające na złączu komunikacyjnym USB. Starsze dżojstiki można podłączyć do złącza USB poprzez odpowiednią przejściówkę, którą jednak aktualnie trudno jest zdobyć.

Nie chcąc rezygnować z urządzenia na nowszych komputerach wykorzystaliśmy dżojstik na złącze USB. Rozebraliśmy go i wyjęliśmy z niego układ elektroniczny (patrz rysunek 5), a następnie dokonaliśmy małej modyfikacji. Modyfikacja polegała na dolutowaniu na długich przewodach fototranzystora BPYP22 do jednego z potencjometrów obrotowych. Wykorzystaliśmy do tego potencjometr odpowiadający obrotom wokół osi Y. Fototranzystor wlutowaliśmy pomiędzy wyprowadzeniem o potencjale 0, a wyprowadzeniem połączonym ze ślizgaczem potencjometru. Pozycję potencjometru dobraliśmy eksperymentalnie tak, żeby w programie komputerowym różnica między stanem osi Y dżojstika oświetlonego i nieoświetlonego była maksymalna.

Zastosowanie urządzenia we współczesnych komputerach pozwala na bardzo precyzyjny pomiar czasu. W przypadku mojego nie najnowszego laptopa dokładność ta wynosi ok. 100 ns. W szybszych komputerach możemy uzyskać jeszcze lepszą dokładność. Niestety nie jesteśmy w stanie wykorzystać w pełni tych możliwości pomiaro-



Rysunek 5. Elementy elektroniczne dżojstika Cyborg 3D Gold firmy Saitek.



Rysunek 6. Zmiany oporu fototranzystora (w jednostkach umownych) oświetlanego żarówką zasilaną napięciem przemiennym o częstotliwości 50 Hz odnotowane urządzeniem opartym na dżojstiku pracującym na złączu USB.

wych, gdyż w przypadku dżojstika na USB odświeżanie stanu dżojstika jest dość rzadkie.

Z wykonanych przeze mnie pomiarów wynika, że stan jest odświeżany co 8 ms. Jest to gorszy wynik niż w przypadku dżojstika pracującego na porcie gier. Można się o tym przekonać wykonując odczyty zmian oporności fototranzystora oświetlanego żarówką zasilaną prądem przemiennym o częstotliwości 50 Hz. Możemy wówczas zaobserwować zmiany oporu wywołane efektem opisanym wyżej, ale nie jesteśmy już w stanie stwierdzić, że częstotliwość zmian wynosi 100 Hz. Wystarczy spojrzeć na rysunek 6 i porównać go z rysunkiem 3.

Na dodatek urządzenie jest na granicy czułości umożliwiającej rozróżnianie zmiany światłości włókna żarówki w stanach odpowiadających skrajnym temperaturom włókna podczas przepływu prądu sinusoidalnie zmiennego. Można zobaczyć, że różnica odczytów odpowiadających stanom maksymalnie rozgrzanego włókna żarówki a stanom najchłodniejszego włókna żarówki wynosi 256. Jest to najniższa wartość zmiany stanu wynikająca z rozdzielczości naszego dżojstika. Klasyczny dżojstik działający na porcie gier miał znacznie lepszą rozdzielczość. Pomiedzy skrajnymi stanami temperatury włókna żarówki można było zarejestrować kilkanaście innych. Widać to na rysunku 3.

Oczywiście w przypadku pomiarów, podczas których strumień światła jest przecinany poruszającym się obiektem różnica odczytów odpowiadających stanom oświetlonego i nieoświetlonego fototranzystora jest dużo większa. Przez co niższa rozdzielczość dżojstika na USB nie stanowi większego problemu.

Mimo opisanych wyżej ograniczeń do wielu zastosowań dokładność pomiaru czasu do 8 ms jest zadowalająca, a w przypadku zjawisk okresowych, np. w przypadku pomiaru okresu drgań wahadła można programowo zwiększyć tę dokładność do 4 ms. Jest to wystarczająca dokładność, aby pokazać np. anharmoniczność drgań wahadła nawet dla drgań o niewielkich amplitudach.

Opisane tu urządzenie można wykorzystać do wielu interesujących pomiarów. Wszystko zależy od pomysłowości eksperymentatora. Dla przykładu jedna z naszych studentek badała za pomocą tego urządzenia zjawisko kapania kropli wody z nieszczelnego kranu [3]. A inny student badał zjawisko dyssypacji energii podczas zderzeń metalowej kulki z masywnym stalowym blokiem [4]. Możliwości zastosowań urządzenia można znacząco zwiększyć poprzez wykorzystanie wszystkich trzech potencjometrów dżojstika.

dr Jan Kurzyk

Katedra Fizyki Politechniki Krakowskiej

LITERATURA

- [1] P. Górnicki, *Niezwykły joystick*. Wiedza i życie, 1994, nr 10.
- [2] <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/win32/api/joystickapi/nf-joystickapi-joygetpos> (dostęp 08.03.2021).
- [3] J. Tarko, „Dochodzenie deterministycznego układu nieliniowego do chaosu na przykładzie ciekącego kranu” materiały XXXVIII Międzynarodowe Seminarium Kół Naukowych, Olsztyn (2009).
- [4] G. Wróblewski, „Wpływ dyssypatywnych zderzeń na ruch wahadła fizycznego”, Praca magisterska, Politechnika Krakowska (2009).

Wycisnąć prąd z kryształu

Stanisław **Bednarek**

Celem tego artykułu jest przedstawienie opisu kilku prostych doświadczeń, pozwalających na praktyczne zapoznanie ze zjawiskiem piezoelektrycznym. Do tego będą użyte łatwo dostępne środki, a koszty i nakład pracy niewielki. Dlatego te doświadczenia mogą być wykonane samodzielnie przez uczniów zainteresowanych fizyką w domu lub na kółku fizycznym. Ze względu na widowiskowy charakter, jedno z tych doświadczeń może zostać pokazane również na festiwalu lub pikniku naukowym.

Trochę teorii i historii

Istnieją dwie odmiany zjawiska piezoelektrycznego. Pierwszą z nich, nazywaną zjawiskiem prostym, odkryli dwaj Francuzi – bracia Jacques i Pierre Curie w 1880 r. [1]. (Pierre został później mężem Marii Skłodowskiej Curie). Istota zjawiska prostego polega na tym, że podczas odkształcania niektórych kryształów pojawiają się ładunki elektryczne na ich powierzchniach. Te kryształy mają szczególne własności w skali atomowej, polegające na braku symetrii w budowie tzw. komórki elementarnej, czyli najbardziej podstawowego, powtarzalnego elementu ich struktury i występowaniu wiązań jonowych.

Wbrew pozorom, takie kryształy nie należą do rzadkości. Ich najbardziej znanymi przykładami są: odmiana α kwarcu (ditlenku krzemu SiO_2 , tzw. wysokotemperaturowego), uwodniony winian sodowo-potasowy ($\text{NaK-C}_4\text{H}_4\text{O}_6$, znany też jako sól Seigentte'a), diwodorofosforan potasu (KH_2PO_4) i tytanian baru (BaTiO_3).

Żeby zaobserwować zjawisko piezoelektryczne, trzeba zachować odpowiednią orientację płaszczyzn próbki w stosunku do osi kryształu podczas jej wycinania. Właściwości piezoelektryczne wykazują też niektóre polimery (polipropylen, polichlorek winylu) w postaci folii o strukturze zmienionej skutkiem rozciągania i działanie na nie pola elektrycznego o dużym natężeniu [2].

Dotychczas przebadano ok. 1000 kryształów piezoelektrycznych. Ze względu na pewne niekorzystne cechy, np. wrażliwość na wilgoć, szerokie zastosowanie znalazło tylko niewiele z badanych materiałów. Druga odmiana zjawiska piezoelektrycznego, nazywanego odwrotnym, polega na zmianie rozmiarów kryształu piezoelektrycznego pod działaniem zewnętrznego pola elektrycznego. Ten efekt najpierw został przewidziany teoretycznie przez Gabriela Lippmanna w 1881 r., a następnie potwierdzony doświadczalnie również przez braci Curie.

Teorię zjawiska piezoelektrycznego opracował Woldeimar Voigt w 1910 r. Zgodnie z tą teorią, do opisu zjawiska prostego stosuje się wzór

$$D = dT, \quad (1)$$

w którym:

D – gęstość powierzchniowa indukowanego ładunku elektrycznego [D] = C/m^2 ,

T – naprężenie [T] = N/m^2 ,

d – stała ładunkowa (nazywana też modułem piezoelektrycznym) [d] = C/N .

Dla odwrotnego zjawiska piezoelektrycznego stosuje się wzór

$$S = dE, \quad (1)$$

w którym:

S – wydłużenie względne (wielkość bezwymiarowa),

E – natężenie pola elektrycznego, przyłożonego do kryształu [E] = V/m .

Stała ładunkowa d jest rzędu 10^{-11} N/C i zależy od rodzaju materiału piezoelektrycznego. Przykładowe wartości d to: $0,023 \cdot 10^{-11}$ N/C dla kwarcu (SiO_2) oraz $2,7 \cdot 10^{-11}$ N/C dla tytanianu baru (BaTiO_3) [3].

Doświadczenia

W celu otrzymania elementu piezoelektrycznego do przeprowadzenia doświadczeń zostanie wykorzystana zapalarka do gazu (fot.1). Taką zapalarkę można kupić za kilka złotych w sklepie z artykułami gospodarstwa domowego. Po wykręceniu dwóch wkrętów i rozdzieleniu połówek obudowy zapalarki można z niej wyjąć mechanizm uderzeniowy wraz z przewodami (fot. 2). Ten mechanizm zawiera element piezoelektryczny w kształcie walca o długości 4 mm i średnicy 1,5 mm, który został wykonany z syntetycznego kwarcu i ma kolor brązowy.

Zadaniem mechanizmu uderzeniowego jest zwielokrotnienie i przeniesienie na element piezoelektryczny nacisku, wywieranego palcem na przycisk, wystający z obudowy zapalarki. To pozwala na wytworzenie wysokiego napięcia i przeskok iskry między elektrodami, od której zapala się gaz zawarty w zbiorniczku zapalarki.

W pierwszym doświadczeniu zostanie wykorzystany cały mechanizm uderzeniowy bez wyjmowania z niego kryształu. Oprócz tego będzie potrzebna neonówka, zapalająca się przy napięciu sieciowym 230 V. Takie neonówki są używane do sygnalizacji załączenia napięcia m.in. w tablicach rozdzielczych lub sprzęcie gospodarstwa domowego i można je kupić w sklepach z artykułami elek-



Fot. 1. Wygląd zewnętrzny zapalarki piezoelektrycznej, która będzie źródłem materiałów do doświadczeń.



Fot. 2. Wygląd zewnętrzny wymontowanego z zapalarki mechanizmu uderzeniowego, zawierającego kryształ piezoelektryczny.

trotechnicznymi. Inny sposób pozyskania neonówki to wymontowanie jej ze startera do świetlówek.

Przewody lub końcówki neonówki należy połączyć, najlepiej zlutować, z przewodami mechanizmu uderzeniowego. Miejsca połączenia przewodów muszą być grubo owinięte taśmą izolacyjną. Kryształ piezoelektryczny, poddany działaniu mechanizmu uderzeniowego wytwarza bowiem napięcie w granicach kilkuset V. Można to sprawdzić miernikiem uniwersalnym, przełączonym na zakres 750 V lub 1000 V napięcia stałego lub impulsowego.

Ponieważ natężenie przepływającego przy tym prądu jest bardzo małe, to przeprowadzanie doświadczenia nie stanowi zagrożenia dla zdrowia. Mimo tego „ukłucia” związane z przyłożeniem wysokiego napięcia do skóry nie są przez każdego odczuwane przyjemnie.

Wykonanie doświadczenia jest bardzo proste. Mechanizm uderzeniowy należy przytrzymać palcami i nacisnąć na wystającą z niego plastikową końcówkę o przekroju kwadratowym. Podczas tego naciskania neonówka rozbłyśka. W celu zapewnienia dobrej widoczności dla większej grupy osób, korzystne jest przyciemnienie pomieszczenia podczas tego doświadczenia.

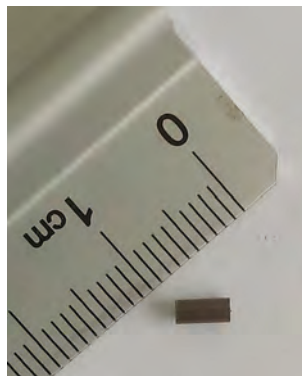
Do następnych doświadczeń należy wyjąć element piezoelektryczny z mechanizmu uderzeniowego. Ponieważ ten element jest całkowicie zatopiony w tworzywie sztucznym pod metalową końcówką mechanizmu osłoniętego plastikową nakładką, to pierwszym etapem jest zdjęcie nakładki. W celu wyjęcia elementu najłatwiej posłużyć się lutownicą. Po przyłożeniu grota lutownicy do metalowej końcówki i jej ogrzaniu, tworzywo sztuczne mięknie i ulega roztopieniu. Metalowa nakładka oddziela się i w stopionym tworzywie widać niewielki walec w ciemnym kolorze – to właśnie jest poszukiwany element.

Topiąc tworzywo należy zachować odpowiednią ostrożność i wykonywać tę pracę przy otwartym oknie oraz na drewnianej podkładce. Po zeszkobaniu żyłką lub ostrym nożem resztek tworzywa sztucznego z otrzymanego elementu, kolejnym etapem przygotowań będzie przyłączenie do niego elektrod i przewodów (fot. 4).

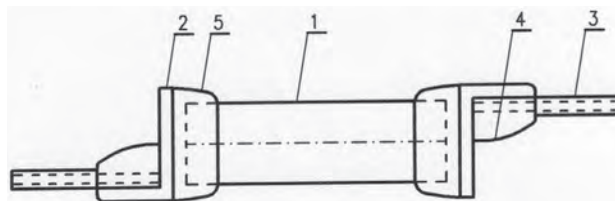
Najprostszy sposób przyłączenia elektrod jest pokazany na rys. 1. Elektrody 2 mają kształt pasków, wyciętych z cienkiej blachki mosiężnej lub miedzianej i zgiętej pod kątem prostym. Do tych elektrod przylutowano końcówki przewodów 3. Następnie elektrody zostały przyklejone



Fot. 3. Mechanizm uderzeniowy przyłączony do neonówki pozwala w efektywny sposób zademonstrować wytwarzanie napięcia piezoelektrycznego. Neonówka jest przeznaczona do świecenia po przyłożeniu napięcia sieciowego. Grube warstwy czerwonej izolacji chronią przed mało przyjemnym działaniem napięcia o takiej wielkości na skórę palców.



Fot. 4. Krysztal piezoelektryczny wymontowany z mechanizmu uderzeniowego zob. (fot. 2). Linijka pozwala na określenie rozmiarów tego kryształu.



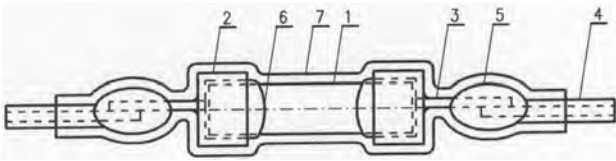
Rys. 1. Najprostszy sposób przyłączenia elektrod do kryształu piezoelektrycznego; 1 – element piezoelektryczny, 2 – elektrody z pasków blachy mosiężnej albo miedzianej, 3 – przewody, 4 – stop lutowniczy, 5 – klej przewodzący prąd elektryczny.

do końców elementu piezoelektrycznego 1 przy użyciu kleju 5, przewodzącego prąd elektryczny. Taki dwuskładnikowy klej na bazie srebra lub grafitu jest dostępny w sklepach z artykułami elektronicznymi i przeznaczony do naprawy przewodów grzejnych na tylnych szybach pojazdów i ścieżek na płytkach obwodów drukowanych. Po zmieszaniu ze sobą potrzebnej ilości składników i nałożeniu kleju na łączone miejsce, należy odczekać kilkanaście godzin do jego utwardzenia i uzyskania dobrej przewodności elektrycznej.

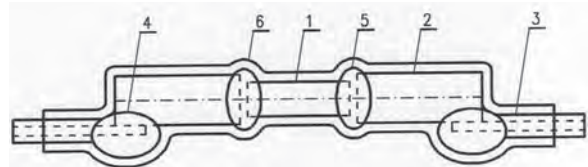
W celu przeprowadzenia doświadczeń trzeba swobodne końce przewodów elementu piezoelektrycznego, przyłączyć do miliwoltomierza na prąd stały. W obecnych warunkach, najczęściej zostanie do tego wykorzystany łatwo dostępny, uniwersalny miernik cyfrowy, tzw. multimetr, przełączony na odpowiedni do tych pomiarów najmniejszy zakres woltomierza. W popularnych miernikach jest to 200 mV.

Dla łatwiejszego przyłączenia końce przewodów można zaopatrzyć we wtyczki bananowe. Jeżeli na trzymane w palcach końce elementu piezoelektrycznego będzie wywierany nacisk, to miliwoltomierz pokaże napięcie wzrastające wraz ze wzrostem siły nacisku. W praktyce napięcie to nie przekroczy kilkudziesięciu mV. Ponieważ na skórze palców też są generowane napięcia w granicach kilku mV, to wskazane jest przeprowadzenie tego doświadczenia w rękawiczkach z materiału elektroizolacyjnego, np. z lateksu. Po zmocowaniu elementu piezoelektrycznego w dowolnym układzie do pomiaru siły ściskającej (pochodzącego np. z zestawu do mechaniki), można przeprowadzić pomiary, pozwalające na sporządzenie wykresu, przedstawiającego zależność napięcia od tej siły lub od naprężenia.

Wspomniany poprzednio klej charakteryzuje się długim czasem utwardzania, a ponadto daje kruchą spoinę. Dlatego, żeby uniknąć odłamania elektrod podczas doświadczeń, korzystniej jest zastosować rozwiązanie pokazane na rys. 2 i fot. 5. W tym przypadku elektrody 2 są



Rys. 2. Trwały sposób połączenia elementu piezoelektrycznego z elektrodami; 1 – element piezoelektryczny, 2 – nakładka mosiężna albo miedziana, 3 – pręcik mosiężny albo miedziany, 4 – przewód, 5 – stop lutowniczy, 6 – klej przewodzący prąd elektryczny, 7 – rurka izolacyjna z folii termokurczliwej.



Rys. 3. Budowa hybrydowego elementu piezoelektrycznego, czułego również na pole magnetyczne; 1 – element piezoelektryczny, 2 – pręcik z materiału ferromagnetycznego, 3 – przewód, 4 – stop lutowniczy, 5 – klej przewodzący prąd elektryczny, 6 – rurka izolacyjna z folii termokurczliwej.



Fot. 5. Wygląd zewnętrzny elementu piezoelektrycznego, połączony z elektrodami w sposób pokazany na rys. 2.



Fot. 6. Wygląd zewnętrzny hybrydowego elementu piezoelektrycznego, wykonanego zgodnie z rys. 3.

nakładkami w kształcie miseczek, wykonanych np. przez wytłoczenie końcem metalowego pręta o odpowiednio dobranej średnicy z cienkiej blaszki mosiężnej albo miedzianej. W elektrodach są wywiercone otworki, przeznaczone do wlutowania końców mosiężnych lub miedzianych pręcików 3. Do zewnętrznych końców tych pręcików są z kolei przylutowane końce przewodów 4. Zagłębienia w elektrodach 2 zostały nałożone na końce elementu piezoelektrycznego 1 i podobnie jak poprzednio, przyklejone klejem przewodzącym prąd elektryczny.

Dla zwiększenia trwałości na opisany zestaw elementów nałożono rurkę izolacyjną z folii termokurczliwej, najlepiej przezroczystej o nieco większej średnicy wewnętrznej niż średnica elektrod. Następnie rurkę lekko ogrzano, co spowodowało jej obkurczenie na elementach zestawu. Dzięki takiemu rozwiązaniu znacznie zwiększono trwałość połączeń. Tak przygotowany element piezoelektryczny jest przeznaczony do przeprowadzania doświadczeń, analogicznie jak z elementem opisanym poprzednio. Ponadto można ostrożnie poddać taki element rozciąganiu i zaobserwować zmianę znaku napięcia wskazywanego przez miernik.

Napężenia konieczne do wystąpienia efektu piezoelektrycznego można spowodować także przez przyłożenie pola magnetycznego. W tym celu należy wykonać element hybrydowy, przedstawiony na rys. 3 i fot. 6. Element piezoelektryczny 1 został umieszczony współosiowo między dwoma pręcikami 2, wykonanymi z materiału ferromagnetycznego, np. z kawałków gwoźdźca stalowego. Końce tych elementów zostały sklejone ze sobą klejem, przewodzącym prąd elektryczny 5. W tym przypadku końce przewodów 3 można było przylutować bezpośrednio do zewnętrznych końców pręcików 2.

Podobnie jak poprzednio, całość została zabezpieczona rurką termokurczliwą 6. Jeżeli tak przygotowany

element piezoelektryczny zostanie umieszczony w polu magnetycznym, skierowanym równoległe do pręcików 2, to te pręciki ulegną namagnesowaniu. W pobliżu ich wewnętrznych końców będą wydrukowane bieguny różnoimienne i pręciki zaczną się przyciągać, wywierając w ten sposób napężenia ściskające na element piezoelektryczny 1. Miliwoltomierz przyłączony do tego układu pokaże napięcie. Opisany układ stanowi czujnik pola magnetycznego, w którym zmiana indukcji magnetycznej powoduje zmianę napięcia na końcach elementu piezoelektrycznego. Do wytworzenia pola magnetycznego nadaje się niewielka cewka lub kilka magnesów neodymowych w kształcie pierścieni, złożonych ze sobą.

Z co z tego dziś mamy?

Zjawiska piezoelektryczne mogą być tematem nie tylko interesujących doświadczeń o charakterze edukacyjnym, które można łatwo wykonać. Dzięki unikalnej możliwości bezpośredniego przetwarzania naprężeń na sygnały elektryczne (konwersji w strukturze materiału bez dodatkowych mechanizmów) i odwrotnie sygnałów elektrycznych na odkształcenia, te zjawiska znalazły wiele zastosowań w nauce, technice i życiu codziennym. [4, 5].

Zjawisko piezoelektryczne proste jest wykorzystane m.in. w budowie sensorów (czujników), montowanych w wagach, zarówno tych używanych w domu, w przemyśle, jak i precyzyjnych wagach laboratoryjnych, siłomierzach, generatorach napięcia elektrycznego, transformatorach, miniaturowych i bardzo czułych mikrofonach, montowanych również w naszych smartfonach, a także w czujnikach naprężeń, przyspieszeń i oczywiście w zapalniczkach, zapalarkach oraz zapalnikach, stosowanych przez pirotechników.

Zjawisko piezoelektryczne było też często wykorzystywane we wkładkach gramofonowych. Takie, powszechnie używane kilkadziesiąt lat temu gramofony, umożliwiały

odtworzenie dźwięków zapisanych na płytach winylowych, a obecnie znów są przedmiotem zainteresowania melomanów.

Z kolei najważniejsze zastosowania odwrotnego zjawiska piezoelektrycznego to przede wszystkim różnego rodzaju konwertery (przetworniki) sygnałów elektrycznych na odkształcenia, które mogą być źródłem dźwięków. Przykładami takich przetworników są: generatory ultradźwięków m.in.: w ultrasonografach medycznych, defektoskopach przemysłowych, sonarach, wykrywaczach ruchu, odstraszaczach zwierząt, myjkach ultradźwiękowych, wykrywaczach przeszkód w tym w czujnikach cofania, urządzeniach do obróbki twardych materiałów, a także głośniki, słuchawki i brzęczyki.

Liczną grupę zastosowań stanowią rezonatory kwarcowe, których od lat używa się do stabilizacji drgań w radiostacjach i radiotelefonach. Takie rezonatory mamy też w używanych na co dzień zegarkach elektronicznych, komputerach, laptopach i tabletach. Wymieniając baterię w zegarku łatwo zauważyć mały, metalowy cylinderek z dwoma wyprowadzeniami, to właśnie jest obudowa rezonatora kwarcowego.

Odwrotne zjawisko piezoelektryczne wykorzystuje się również w aktuatorach (mechanizmach wykonawczych) umożliwiających precyzyjną zmianę położenia. Przykładem jest STM (ang. Scanning Tunneling Microscope) skaningowy mikroskop tunelowy, gdzie sterowany elek-

trycznie układ beleczek krzemowych przesuwają koniec igły wolframowej nad powierzchnią próbki z nanometrową dokładnością.

W technice laboratoryjnej stosowane są też piezoelektryczne mikropompy i mikrosilniki, a w niektórych samochodach układy zasilania paliwem z zaworami i wtryskiwaczami piezoelektrycznymi. Ciekawą, obiecującą i szybko rozwijaną dziedziną są obecnie MEMS-y i NEMS-y, (ang. Micro- Electro- Mechanical Systems i Nano- Electro- Mechanical Systems), czyli systemy mikro- i nanoelektromechaniczne, w których pracują zintegrowane elementy elektryczne i mechaniczne o bardzo małych rozmiarach, m.in. wykonane z krzemu beleczki piezoelektryczne [6].

Stanisław Bednarek

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej UŁ

LITERATURA

- [1] S. Szczeniowski, Fizyka doświadczalna, cz. III, Elektryczność i magnetyzm, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa (1972).
- [2] B. Hilczer, J. Małecki, Elektryty i piezopolimery, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa (1992).
- [3] W. Mizerski (red.), Tablice fizyczno-astrofizyczne, Wydawnictwo Adamantan, Warszawa (2013).
- [4] Oleś, Metody doświadczalne fizyki ciała stałego, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa (1998).
- [5] A. Hryniewicz, E. Rokita (red.), Fizyczne metody diagnostyki medycznej i terapii, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa (2013).
- [6] M. Moczala, A. Sierakowski, P. Janus, P. Grabiec, W. Leśkiewicz, T. Goszałak, Postępy nanometrologii układów MEMS/NEMS, „Mechanik”, nr. 1 (2016), DOI: 10.17814/mechanik.2016.11.459.

Co w fizyce piszczy

Latający komputer

W czasach, gdy wszyscy fascynują się wielkimi statkami powietrznymi, raketami i samolotami amerykańscy naukowcy postanowili pójść w drugą stronę i skonstruować najmniejszy, wykonany ręką człowieka obiekt latający. Obiekt ten ma wielkość ziarenka piasku. Składa on się z części elektronicznej zdolnej mierzyć parametry atmosfery i je przesyłać na ziemię oraz skrzydeł. Nie posiada on więc silnika. Do lotu wykorzystuje siłę prądów powietrznych. Powstał on jako rezultat długich studiów

dotyczących aerodynamiki małych obiektów. Pierwszym zastosowaniem latającego komputera będzie pomiar parametrów atmosfery, w tym zanieczyszczeń z jej wnętrza. Dzięki swoim małym rozmiarom nie będzie on jej zaburzał więc dane otrzymane za pomocą takiego małego czujnika są bardziej wiarygodne.

Źródło: Kim, B.H., Li, K., Kim, J.T. et al. Three-dimensional electronic microfliers inspired by wind-dispersed seeds. Nature, 2021 DOI: 10.1038/s41586-021-03847-y

Dron wskaże plony

Dron latający nad polem uprawnym wskaże przewidywany plon, ilość potrzebnego nawozu i stan nawodnienia upraw pszenicy ozimej, rzepaku czy kukurydzy.

Naukowcy z Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza oraz Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu wspólnie ze spółką PolDrone z Gniezna pracują nad stworzeniem usługi o roboczej nazwie Sensecorps.

Będzie to narzędzie oparte na sztucznej inteligencji, które w każdej fazie wzrostu rośliny wskaże przewidywany plon, ilości potrzebnego nawozu czy stan nawodnienia, z uwzględnieniem podziału na jednorodne części pól i szczegółową informację dotyczącą stanu gleby. Niezależnie do tego dane zbierze dron.

Jak tłumaczy dr hab. inż. Cezary Kaźmierowski z Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych UAM, projekt ma służyć optymalizacji zarządzania produktywnością upraw rolniczych z wykorzystaniem zobrażeń sateli-



Foto – Dreamstime

tarnych. Spersonalizowane usługi GIS będą generowane w sposób autonomiczny na bazie sztucznej inteligencji, udostępnianej w portalu rolniczym.

PAP – Nauka w Polsce