

ZASTOSOWANIE METODY REZONANSOWEJ DO WYKRYWANIA ZMIAN MASY MAŁYCH OBIEKTÓW BIOLOGICZNYCH

Marek Kuna-Broniowski

Katedra Podstaw Techniki, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Streszczenie. W artykule opisano wykorzystanie rezonansu zachodzącego w kryształach posiadających własności piezoelektryczne do wykrywania bardzo małych zmian masy zachodzących w małych obiektach biologicznych. Przedstawiono zasadę działania czujnika opartego na tym zjawisku oraz wyniki pomiarów zmian masy próbki powodowane rozwojem kultury drożdży. Omawiana metoda pomiarowa służy do konstrukcji systemów pomiarowych on-line i at-line, które znajdują coraz większe zastosowanie w przemyśle rolno-spożywczym

Słowa kluczowe: biosensor, rezonans piezoelektryczny, pomiary at-line

Wstęp

W przemyśle spożywczym kontrola jakości jest sprawą o znaczeniu podstawowym. Coraz większą wagę przywiązuje się też do skutecznych metod zapewnienia jakości. Konsument oczekują produktu odpowiedniej, adekwatnej do ceny jakości, o długiej przydatności do spożycia i bezpiecznego dla zdrowia, natomiast kontrolerzy żywności wymagają przestrzegania zasad dobrej praktyki produkcyjnej, zapewnienia bezpieczeństwa zdrowotnego produktów oraz ich oznakowania, a także podporządkowania się przepisom. Z kolei producenci żywności domagają się coraz głośniejszych skutecznych metod kontroli jakości, w szczególności z zastosowaniem sensorów on-line i at-line, po pierwsze, aby zadowolić konsumenta i pozostać w zgodzie z przepisami prawa, po drugie zaś, by zwiększyć możliwości produkcyjne, usprawnić sortowanie jakościowe, zwiększyć automatyzację oraz zmniejszyć koszty produkcji i jej czas (poprzez zwiększenie wydajności).

Tak więc wszystkie trzy siły wywierające nacisk na kontrolę jakości on-line, tj. konsumenci, władze oraz producenci żywności, zainteresowani są żywotnie opracowaniem nowych systemów czujnikowych, wykraczających poza obecnie stosowane technologie on-line, takie jak kontrola masy, objętości, temperatury, pH, lepkości, barwy i wyglądu produktu.

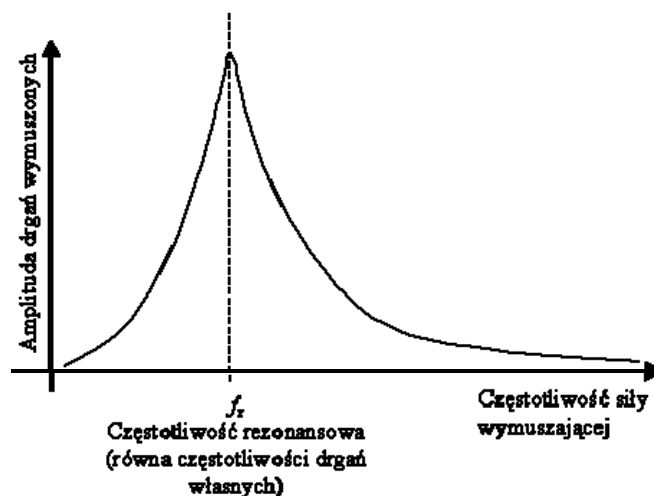
Ponadto, w ostatniej dekadzie pojawiło się wiele nowych koncepcji dotyczących bezpieczeństwa, jak też kluczowych parametrów jakości. Są to: Analiza Zagrożeń i Krytyczny Punkt Kontrolny (HACCP), Kompleksowe Zarządzanie Jakością (TQM), certyfikaty ISO 9000, wykrywalność oraz legalizacja. W każdym z tych przypadków wymagane są ulepszone metody kontroli. Odrębny problem, jeżeli chodzi o bezpieczeństwo żywności, stanowią drobnoustroje chorobotwórcze, BSE, GMO i różne zanieczyszczenia. Tutaj niezbęd-

na jest ścisła kontrola, rejestracja i obróbka danych. A za każdym razem dla celów kontroli potrzebne okazują się sensory on-line w fazie czasowej, nowe systemy danych, systemy ostrzegania, ciasne pętle sprzężenia zwrotnego itd. [Hao Yu, Bruno, 1996].

Wielkim wyzwaniem jest zajęcie się takimi zagadnieniami, jak sensory on-line czasu rzeczywistego i systemy danych do kontroli procesów i produktów, kontrola zautomatyzowanego procesu oraz strumienia surowców, badania jakościowe produktów finalnych, oznakowanie produktów, informacje na temat wartości odżywczych oraz wpływu na zdrowie, że nie wspomnieć o wielu jeszcze innych.

Metodyka badań

Celem badań było ocena możliwości wykorzystania zjawisk rezonansowych do zwiększenia dokładności sensorów działających na zasadzie zmian częstotliwości, co umożliwiłoby w rezultacie kontrolowanie zmian masy małych obiektów biologicznych pojawiających się np. w wyniku rozwoju mikroorganizmów. Zjawiska rezonansowe a zwłaszcza rezonansu elektromechanicznego zachodzące w niektórych związkach wykazujących własności piezoelektryczne, są od dawna wykorzystywane w elektronice do stabilizacji parametrów częstotliwościowych układów elektronicznych. Przebieg typowej krzywej rezonansowej pokazano na rys.1.

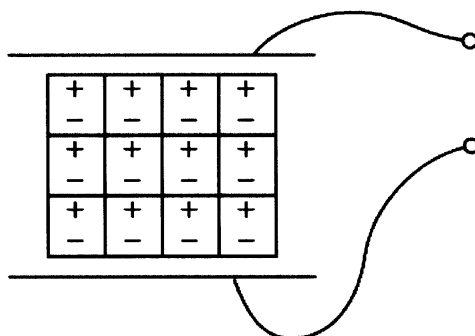


Rys. 1. Przebieg typowej krzywej rezonansowej dla układów mechanicznych

Fig. 1. Trajectory of a typical resonance curve for mechanical systems

Cechą charakterystyczną układów zawierających elementy piezoelektryczne jest możliwość uzyskiwania bardzo wysokich częstotliwości drgań rezonansowych oraz bardzo wąskich przebiegów krzywej rezonansu w okolicach częstotliwości rezonansowej f_x . Elementem oscylacyjnym jest tutaj płytka wycięta z kryształu kwarcu. Drgający element

piezoelektryczny jest w istocie układem elektromechanicznym w którym drgania własne układu powodują powstanie naprzemiennych ładunków elektrycznych na powierzchni kryształu, jak to widać na rys. 2.



Rys. 2. Schemat czujnika opartego na efekcie piezoelektrycznym
 Fig. 2. Diagram of a sensor based on the piezoelectric effect

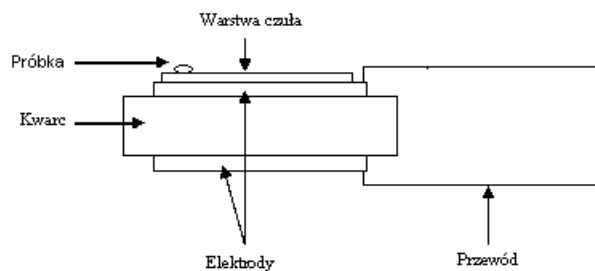
Zastosowano tutaj dwie metalowe płytki do zamknięcia kryształu w kondensator, siła zewnętrzna powoduje deformację kryształu, czego rezultatem jest wytworzenie ładunku, który jest zależny od zastosowanej siły. Powstające napięcie opisuje zależność (1)

$$V = \frac{Q_f}{C} \quad (1)$$

gdzie:

- Q_f – ładunek powstały pod działaniem siły f ,
- C – pojemność kondensatora

W oparciu o ten schemat działania powstał sensor wykorzystujący zmianę częstotliwości drgań układu rezonansowego, spowodowany zmianą masy układu drgającego. Budowę takiego sensora przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Czujnik piezoelektryczny
 Fig. 3. Piezoelectric sensor

Elementem pomiarowym jest płytka kwarcowa, do której bezpośrednio lub za pośrednictwem warstwy czulej przylegają obiekty biologiczne. Powoduje to zmianę masy układu i co za tym idzie, zmianę częstotliwości układu rezonansowego.

Zmiana częstotliwości układu opisana jest wzorem Saucerebray'a [Kumar 2000; Yong K. Hong, Heung-Keun Park, Sung Q. Lee, Kee S. Moon, M. Levy 2004]:

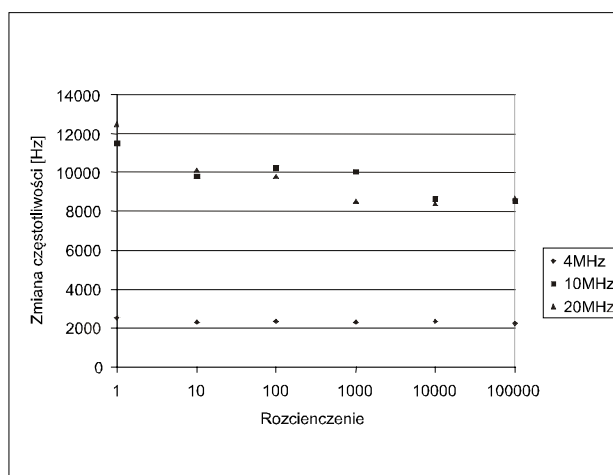
$$\Delta f = -\frac{2f_0^2 \Delta m}{A\sqrt{q_q \mu_q}} = -2,26 \cdot 10^6 f_0^2 \frac{\Delta m}{A} \quad (2)$$

Jak widać z przedstawionego wzoru zmiana masy układu powodowana zmianami masy próbki umieszczonej na czujniku ma istotny wpływ na częstotliwość własną układu. Analogiem mechanicznym takiego czujnika jest mechaniczny układ oscylacyjny, którego masa zmienia się pod wpływem zjawisk zachodzących w warstwie czulej. Zaletą tak skonstruowanego czujnika jest jego bardzo duża czułość na najmniejsze nawet zmiany masy obiektów umieszczonych na nim. Ta bardzo wysoka czułość metody rezonansowej pochodzi stąd, że współczesne technologie umożliwiają wykonanie czujników rezonansowych o bardzo stabilnych i precyzyjnych parametrach elektrycznych wchodzących w skład obwodu rezonansowego. Jednak dysponowanie nawet bardzo czułymi detektorami nie pozwoliłoby na obserwację obiektów biologicznych bez dysponowania wystarczająco czułą aparaturą elektroniczną, umożliwiającą obserwację i rejestrowanie zmian oscylacji detektora. Zupełnie nowe możliwości w tym zakresie otwiera stosowanie komputerowych instrumentów wirtualnych. Instrumenty wirtualne, składają się z dwóch zasadniczych obszarów programowych. Pierwszym z nich jest tzw. panel czołowy służący jako zewnętrzny interfejs użytkownika, drugi to tzw. diagram operacyjny w którym w postaci graficznej utworzony jest program pomiarowy instrumentu. Dzięki obszernym bibliotekom zawierającym elementy i moduły pomiarowe, istnieje możliwość tworzenia własnych kombinacji instrumentów pomiarowych. Ta elastyczność oraz fakt, że w istocie instrument pomiarowy reprezentowany jest przez rozbudowany program komputerowy, stwarza możliwość dostosowania komputerowego stanowiska badawczego do konkretnych zadań i warunków badawczych. Jest bardzo ważne w przy badaniach obiektów biologicznych gdzie parametry układu pomiarowego muszą być dostosowane do konkretnego obiektu badawczego.

Wyniki badań

Analiza teoretyczna układów rezonansowych opartych na elementach piezoelektrycznych wskazuje, że mogą one pozwolić na obserwację rozwoju mikroorganizmów w produktach spożywczych poprzez kontrolowanie zmian masy obiektów. Przeprowadzono w związku z tym badania które miały wykazać, że możliwe jest wykrywanie nawet tak znikomych masy obiektów, że możliwym staje się obserwowanie narastania mikroorganizmów w próbce. Do badań wygrano drożdże spożywcze ze względu na dostępność i łatwość kontrolowania ich rozwoju. W celu określenia czułości metody do wykrywania zmian w ilości mikroorganizmów w próbce, rozcieńczano, sztucznie wyhodowaną kulturę drożdży spożywczych w wodzie destylowanej. Następnie, nanoszono próbki o wielkości 0,1 μ l na powierzchnię czujnika rezonansowego i obserwowano wielkość odstrojenia od często-

tliwości rezonansowej. Pomiary przeprowadzono dla czujników o różnych wartościach częstotliwości rezonansowych. Wybrano rezonatory o typowych w wartościach rezonansu równych 4 Mhz, 10 Mhz i 20 MHz, celem doboru wielkości optymalnej dla wybranej wielkości próbki. Wyniki obrazujące wielkość odstrojenia układów rezonansowych od wielkości rezonansu własnego, dla różnych wartości rozcieńczenia kultury drożdży w próbce pokazano na rys. 4.



Rys. 4. Zmiana częstotliwości rezonansowej w funkcji rozcieńczenia próbki kulturą drożdży
 Fig. 4. Change of resonance frequency in function of sample dilution with yeast culture

Wnioski

Przedstawione wyniki badań wykazują, że metoda rezonansowa jest przydatna do określania zmian masy małych obiektów biologicznych. Może ona służyć do kontrolowania zmian mikroskopijnych zmian masy próbki powodowanej różnymi czynnikami. Użycie precyzyjnych komputerowych instrumentów wirtualnych umożliwia wykrywanie bardzo małych zmian częstotliwości rezonansowej czujnika powodowanych zmianą masy obiektu. Obserwacje te mogą być prowadzone w sposób ciągły a czułość systemu może być dostrójona do wielkości obiektu mierzonego. W badaniach używano stosunkowo dużych próbek ze względu na konieczność dokładnego określenia ich objętości. Wyniki pomiarów wskazują, że rozdzielczość metody jest większa przy użyciu rezonatorów o większych częstotliwościach, przy czym wydaje się, że optymalne jest stosowanie rezonatorów o częstotliwościach własnych w granicach 8-10 Mhz. Przy takich częstotliwościach dokładność jest wystarczająca a uboczne efekty operowania dużymi częstotliwościami nie są duże.

Bibliografia

- Ashok Kumar** 2000. Biosensors Based on Piezoelectric Crystal Detectors: Theory and Application, JOM, 52 (10)
- Hao Yu, John G. Bruno** 1996. Immunomagnetic-Electrochemiluminescent Detection of Escherichia coli O157 and Salmonella typhimurium in Foods and Environmental Water Samples. Applied and Environmental Microbiology, p. 587-592.
- Yong K. Hong, Heung-Keun Park, Sung Q. Lee, Kee S. Moon, M. Levy** 2004. Fabrication of piezoelectric biosensor based on a PZN-PT/PMN-PT single crystal thin film. Proceedings of the SPIE International Conference On Opto-mechatronic Actuators. Sensors and Control. SPIE. Volume 5602. p. 140-147.

USING THE RESONANCE METHOD TO DETECT CHANGES IN MASS OF MINOR BIOLOGICAL OBJECTS

Abstract. The article describes the use of resonance occurring in crystals possessing piezoelectric properties to detect very small mass changes taking place in small biological objects. The work presents operation principle for a sensor based on this phenomenon, and measurement results for changes in sample mass due to yeast culture growth. The discussed measurement method is used to design on-line and at-line measurement systems, which find more and more applications in agricultural and food industry

Key words: biosensor, piezoelectric resonance, at-line measurements

Adres do korespondencji:

Marek Kuna-Broniowski
Katedra Podstaw Techniki
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Doświadczalna 50A
20-280 Lublin