

Czujnik piezoelektryczny do pomiaru parametrów ruchu drogowego na bazie materiałów zbudowanych z pierwiastków grupy 15, 16 i 17 układu okresowego

Przedmiotem wynalazku jest czujnik piezoelektryczny do pomiaru parametrów ruchu drogowego na bazie materiałów zbudowanych z pierwiastków grupy 15, 16 i 17 układu okresowego, przeznaczony do wyznaczania parametrów ruchu drogowego takich jak: natężenie ruchu, prędkość, struktura rodzajowa ruchu, liczba osi pojazdów, odstęp pomiędzy nimi oraz ich masa.

Zjawisko piezoelektryczne ma zastosowanie w różnych dziedzinach nauki oraz techniki, jako zjawisko proste - odkształcenia mechaniczne generują sygnały elektryczne i zjawisko odwrotne - odkształcenia piezoelektryka następują pod wpływem przebiegów elektrycznych. W niektórych urządzeniach takich jak: piezoelektryczne czujniki pomiaru sił, prędkości, drgań, ciśnienia wykorzystuje się oba zjawiska. Piezoelektrykami mogą być monokryształy i polikryształy, których komórki elementarne nie mają środka symetrii. Najczęściej stosowanymi piezoelektrykami są kwarc i perowskity np.: tytanian baru, tytanian ołowiu. Ponadto do grupy piezoelektryków należy grupa związków modyfikowanych soli mieszanych ($\text{Pb}[\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x}]\text{O}_3$, $0 \leq x \leq 1$), w skrócie PZT. Łatwiejsze w zastosowaniach są materiały wytwarzane w postaci warstw ceramicznych, ceramiki objętościowej czy też włókien o dowolnych kształtach. Włókna piezoelektryczne dzięki właściwościom takim jak: anizotropia właściwości, elastyczność, lepsza wytrzymałość w stosunku do objętościowej ceramiki tego samego typu są stosowane do wytwarzania czujników piezoelektrycznych. Czujniki wytwarzane są z cienkich i elastycznych włókien układanych równolegle do siebie w odległościach około 0,2 mm w jednej płaszczyźnie. Na warstwę włókien nanoszone są elektrody grzebieniowe pozwalające na zbieranie z włókien ładunków elektrycznych powstających w czasie ich odkształcania. Czujniki z włókien są czułe na odkształcenia w kierunku równoległym do kierunku ułożenia włókien, ponadto można je ze sobą sklejać warstwami tworząc laminat „nasycony” włóknami piezoelektrycznymi.

Z amerykańskiego opisu patentowego US6629341 znany jest sposób wytwarzania czujników opartych na włóknach piezoelektrycznych o przekroju prostokątnym.

Projektowany czujnik należy do rodzaju tzw. czujników wbudowanych w postaci detektorów kontaktowych, które wymagają bezpośredniego oddziaływania koła pojazdu na czujnik.

Dotychczas znane są rozwiązania wykorzystujące detektory linkowe, hydrauliczne światłowodowe pneumatyczne, reluktancyjne, rezystancyjne, pojemnościowe oraz piezoelektryczne.

Wśród detektorów piezoelektrycznych najczęściej stosuje się tytanian baru, tlenki metali, piezoceramiki (PZT), czysty PVDF [Gajda J., Sroka R., Stencel M., Żegień T., Burnos P., Piwowar P.: Pomiary parametrów ruchu drogowego, Wydawnictwa AGH, Kraków 2012]. W pracach [Li Z.-X., Yang X.-M., Li Z.: Application of Cement-Based Piezoelectric Sensors for Monitoring Traffic Flows. *Journal of Transportation Engineering* (2006) vol.132, no. 7, pp. 565 – 573] oraz [Burnos P., Gajda J., Piwowar P., Sroka R., Stencel M. and Zeglen T.: Measurements of Road Traffic Parameters Using Inductive Loops and Piezoelectric Sensors. *Metrology and Measurement Systems*, (2007) vol. 14, no. 2, pp. 187–203] przedstawiono wykorzystanie czujników piezoelektrycznych do monitorowania parametrów ruchu drogowego, a w publikacji [Pedersen T., Haugen T.: Vehicle Weight Estimation Based on Piezoelectric Sensors Used at Traffic Enforcement Cameras Experiences from the Norwegian system. *IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems* (2017)] do pomiaru masy pojazdów.

Zagadnieniem technicznym wymagającym rozwiązania jest zastosowanie nowych, innowacyjnych materiałów nanokompozytowych w konstrukcji czujnika piezoelektrycznego do monitorowania parametrów ruchu drogowego

Czujnik piezoelektryczny do pomiaru parametrów cech ruchu drogowego charakteryzuje się tym, że zbudowany jest z warstwy aktywnej o grubości do 2 cm, którą stanowi materiał piezoelektryczny zawierający wieloskładnikowe związki pierwiastków grupy 15, 16 i 17 układu okresowego o postaci $A_x^{15} B_{1-x}^{15} C_y^{16} D_{1-y}^{16} E_z^{17} F_{1-z}^{17}$, gdzie $x, y, z \in \langle 0,1 \rangle$ lub z ich kompozytów umieszczonej pomiędzy elementami konstrukcyjnymi przenoszącymi naprężenia.

Korzystnie w czujniku piezoelektrycznym według wynalazku jako materiał matrycy kompozytu piezoelektrycznego stosuje się PAN, PVP, żywicę epoksydową, żywicę polimerową, celulozę, PMMA lub PVDF.

Zaletą rozwiązania według wynalazku jest prosta konstrukcja czujnika oraz efektywność wytwarzania jego warstwy aktywnej. Ponadto dzięki zastosowaniu

nanomateriałów ww. związku np. SbSI lub ich kompozytów z uwagi na jedną z największych znanych wartości współczynnika piezoelektrycznego ($d_{33}=1 \text{ nC/N}$) i współczynnika sprzężenia elektromechanicznego ($k_{33}=0.9$), uzyskując się duże wartości rejestrowanych sygnałów. Dodatkowym atutem jest możliwość wykorzystania wygenerowanej mocy do zasilania samego czujnika lub różnych elementów infrastruktury drogowej (czujnik aktywny). Wykorzystanie czynników piezoelektrycznych, jako źródła energii powstającej w wyniku nacisku koła pojazdu samochodowego przedstawiono w pracach [Souri H., Namb I.W., Lee H.K.: A zinc oxide/polyurethane-based generator composite as a self-powered sensor for traffic flow monitoring. *Composite Structures* (2015), vol. 134 pp. 579–586] oraz [Zhang Y., Zhang H., Lu C., Chen Y., Wang J.: Piezoelectric energy harvesting from roadway deformation under various traffic flow conditions. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures* (2020), vol.31 no. 15 pp. 1-12].

Przedmiot wynalazku został przedstawiony w przykładach wykonania na rysunkach, na których Fig.1 przedstawia przykładowe sygnały rejestrowane w wyniku najazdu samochodu na czujnik piezoelektryczny, Fig.2 przedstawia schemat konstrukcyjny układu pomiarowego oraz zdjęcie jezdni po jego zamontowaniu, Fig.3 przedstawia przykładowy sygnał zarejestrowany na czujniku z Fig.2 podczas przejazdu różnego typu pojazdów.

Przykład 1

Czujnik piezoelektryczny zbudowany jest z warstwy aktywnej w postaci płasko-równoległych płytek o grubości do 2 cm umieszczonej pomiędzy elementami konstrukcyjnymi przenoszącymi naprężenia. Warstwę aktywną stanowi materiał piezoelektryczny zawierający wieloskładnikowe związki pierwiastków grupy 15, 16 i 17 układu okresowego o postaci $A_x^{15} B_{1-x}^{15} C_y^{16} D_{1-y}^{16} E_z^{17} F_{1-z}^{17}$, gdzie $x, y, z \in \langle 0,1 \rangle$ lub z ich kompozytów. Na ich powierzchniach nanosi się elektrody metaliczne. Do elektrod mocowane są wyprowadzenia elektryczne do urządzenia pomiarowego. Przygotowany czujnik pokrywany jest warstwą dielektryka np. silikonem w celu zabezpieczenia go przed czynnikami zewnętrznymi tj. wodą, śniegiem, wiatrem i słońcem oraz przed zwarciami.

Wytworzony czujnik umieszcza się pomiędzy elementami konstrukcyjnymi przenoszącymi naprężenia. Są nimi np. blachy stalowe lub kompozytowe odporne na niszczenie przez przejeżdżające pojazdy. Gotowy element może być zamontowany w jezdni lub na jezdni.

Przykład 2

Pomiar cech ruchu za pomocą jednego czujnika piezoelektrycznego zbudowanego z kompozytu żywica epoksydowa/SbSI.

W celu sprawdzenia urządzenia w warunkach zbliżonych do warunków rzeczywistych, zamontowano wytworzone czujniki pomiędzy dwoma blachami stalowymi. Przykładowe sygnały rejestrowane w wyniku najechania samochodu marki VW Passat (masa pojazdu około 1600 kg) z różną prędkością na czujnik piezoelektryczny, którego warstwą aktywną jest kompozyt składający się z nanodrutów SbSI i żywicy epoksydowej przedstawiono na Fig.1. Zgodnie z oczekiwaniami wraz ze wzrostem prędkości pojazdu, a tym samym wzrostem deformacji czujnika odnotowano wzrost wartości rejestrowanego sygnału. W pomiarach tych sygnał był mierzony za pomocą analizatora Photon⁺. Dwa mierzone piki rejestrowanego sygnału dla każdej z odnotowanych prędkości jazdy związane są z przejazdem przez czujnik przedniej oraz tylnej osi pojazdu. Fig. 1b przedstawia mierzone wartości międzyszczytowe napięcia wynikające z różnicy pomiędzy maksimum i minimum rejestrowanego sygnału. Ze względu na duże wartości generowanych sygnałów można stwierdzić, iż czujnik umieszczony pomiędzy blachami (skonstruowany układ pomiarowy) wykorzystać można zarówno, jako czujnik do monitorowania ruchu, w tym do pomiarów nacisku poszczególnych osi pojazdów, jak również, jako źródło energii.

Przykład 3

Pomiar cech ruchu za pomocą dwóch czujników piezoelektrycznych zbudowanych z kompozytu PMMA/SbSI.

Po wykonaniu prób pomiaru odpowiedzi piezoelektrycznej przeprowadzonych w warunkach zbliżonych do rzeczywistych sprawdzono możliwości aplikacyjne wytworzonych urządzeń, jako nanogeneratorów i czujników pomiarów parametrów cech ruchu drogowego w rzeczywistych warunkach ruchowo-drogowych. Po przygotowaniu projektu organizacji ruchu uzyskano zgody Miejskiego Zarządu Ulic i Mostów w Katowicach, Wydziału Transportu Urzędu Miasta Katowice oraz Wydziału Ruchu Drogowego Komendy Miejskiej Policji w Katowicach na montaż skonstruowanego układu na nawierzchni drogi przy ul. P. Kołodzieja w Katowicach. Montaż układu pomiarowego składającego się czujników i blach został wykonany przez pracowników MZUiM. Pomiary parametrów cech ruchu drogowego prowadzono przez 24 godziny. Dodatkowo pomiar był nagrywany z wykorzystaniem kamery wideo. Schemat układu pomiarowego oraz zdjęcie jezdni po jego zamontowaniu przedstawiono na Fig. 2. Układ pomiarowy składał się z blachy (1) stalowej o grubości 3 mm, materiału kompozytowego PAN/SbSI (2) w konfiguracji typu Sandwich przedstawionej na Fig.2a z naniesionymi złotymi elektrodami (3) i z wyprowadzeń elektrycznych do aparatury pomiarowej (4). Do badań terenowych wykorzystano trzy próbki kompozytu PMMA/SbSI (2)

w konfiguracji sandwich połączone równolegle, umieszczone pomiędzy dwoma płytami stalowymi (1) służącymi do przenoszenia nacisku przejeżdżających pojazdów. W celu uniknięcia zwarcia, próbki zabezpieczono silikonem. Wykonano dwa komplety układów pomiarowych umieszczonych w odległości trzech metrów od siebie i podłączonych do dwóch kanałów analizatora sygnałów Photon + (Brue& Kjaer). Taka konfiguracja urządzeń pomiarowych pozwala na rejestrację sygnału powstającego podczas przejazdu pojazdów i wyznaczenie ich prędkości.

Przykładowy sygnał zarejestrowany podczas przejazdu różnego typu pojazdów (samochody osobowe i ciężarowy) przedstawiono na Fig.3. Rejestrowano parametry cech ruchu drogowego na dwóch kanałach pomiarowych czujników zamontowanych w odległości 3 m od siebie. Kanał nr 1 zamontowany był, jako pierwszy w kierunku ruchu pojazdów, natomiast kanał nr 2 za nim.

Na obu kanałach wyraźnie widać sygnały generowane w wyniku nacisku wywołanego przez każdą oś przejeżdżającego pojazdu. Pierwsze pięć pików na każdym kanale pochodzi od 2-osioowego ciągnika z 3-osiową naczepą, kolejne sześć pików pochodzi od przejeżdżających samochodów osobowych. Przesunięcie w czasie sygnałów rejestrowanych na obu kanałach pozwala wyznaczyć prędkość pojazdu.

Rzecznic Patentowy
mgr inż. Katarzyna Markowa