

Czujniki bezprzewodowe z przetwornikiem energii w postaci śruby

Nowoczesne technologie dają konstruktorom wcześniej niedostępne możliwości. Jako przykład mogą posłużyć sensory wbudowane w śruby nadające wynik pomiaru za pomocą fal radiowych. Jakby tego było mało, nie wymagają użycia baterii lub akumulatorów – są zasilane za pomocą jednej z technik „energy harvesting”, to jest z zastosowaniem przetwornika energii kinetycznej na elektryczną.

Czujniki wkręcane w mierzone obiekty to nic nowego. Za przykład mogą posłużyć chociażby czujniki ciśnienia lub temperatury stosowane w pojazdach. Ale czujnik w postaci śruby, który nie dosyć, że przesyła wyniki pomiarów za pomocą fal radiowych, to jeszcze zamienia energię drgań mechanicznych w energię elektryczną i przez to nie wymaga okablowania, to przykład „sztuki elektroniki”.

Jednym z najważniejszych zastosowań takich sensorów są pojazdy, w których mogą one być zainstalowane w różnych punktach, pełniąc przy tym różne funkcje, od najprostszego wykrywania obecności obiektu, aż do pomiaru parametrów fizycznych. Ze względu na formę śruby, sensory są szczelne i odporne nie tylko na czynniki mechaniczne, ale również na działanie wilgoci, kurzu, zabrudzenie olejem, paliwem i inne. W samochodzie takie sensory mogą być użyte w „mniej ważnych” miejscach, niewymagających absolutnej niezawodności, na przykład w systemach poprawiających komfort użytkownika pojazdu i bezpieczeństwo użytkowników. Należą do nich czujniki zapięcia pasów, obecności przyczepy, oświetlenia, obrotów/przełożenia automatycznej skrzyni biegów i niektórych parametrów pracy silnika. Normalnie stosowane w tych zastosowaniach sensory wymagają okablowania, przez co są bardzo niewygodne w użyciu.

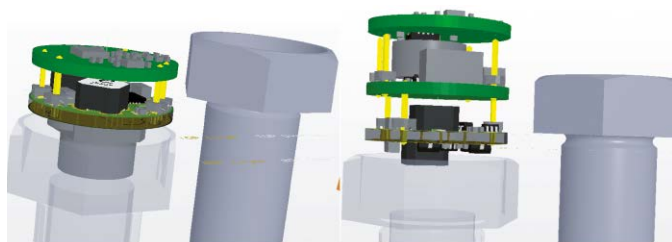
Łatwo powiedzieć, ale znacznie trudniej zrobić

Oczywiście, taka śruba nie musi mieć wymiarów typowej śruby M3 – może być większa, ale mimo tego i tak konstruktor podobnego urządzenia musi rozwiązać szereg problemów technicznych, z których miniaturyzacja jest bodajże jednym z mniej ważnych.

Jako pierwszy i jeden z najważniejszych trzeba będzie rozwiązać problem zasilania. Jak wspomniano, omawiane sensory są zasilane energią wibracji. Nietrudno domyślić się, że zależnie od miejsca zainstalowania te wibracje będą miały różną amplitudę i częstotliwość. Dlatego też napięcie generowane przez przetwornik elektromechaniczny będzie miało różną częstotliwość i wartość. Ponadto, niewielkie wibracje będą w stanie wytworzyć małe napięcie przemiennie, które co prawda da się wyprostować za pomocą standardowego prostownika, ale jego straty będą zbyt duże, aby można było zasilić układ elektroniczny. Dlatego też musi być stosowana niskonapięciowa, energooszczędna przetwornica podwyższająca napięcie – boost. Musi ona nie tylko działać już przy napięciu poniżej 1 V, ale również charakteryzować się bardzo dużą sprawnością. Sam przetwornik elektromechaniczny też musi być zoptymalizowany, aby działał z maksymalną efektywnością w szerokim zakresie amplitudy i częstotliwości drgań mechanicznych.

Najczęściej do zasilania urządzeń energią wibracji używa się przetworników elektrodynamicznych, piezoelektrycznych, elektrostatycznych lub elektromagnetycznych. Dobrym wyborem dla sensora w postaci śruby jest przetwornik elektromagnetyczny, w którym ruchomy magnes przemieszcza się wewnątrz cewki. Głównym powodem jest możliwość wykorzystania zjawiska rezonansu, dzięki któremu taki nieskomplikowany układ może osiągnąć bardzo dobrą wydajność. Dodatkowym atutem tego rozwiązania są niewielkie wymiary oraz cylindryczny kształt, który bardzo dobrze pasuje do omawianego sensora.

PODZESPOŁY



Rysunek 1. Budowa wewnętrzna układu pomiarowego umieszczonego wewnątrz śruby (źródło: IK Elektronik GmbH)

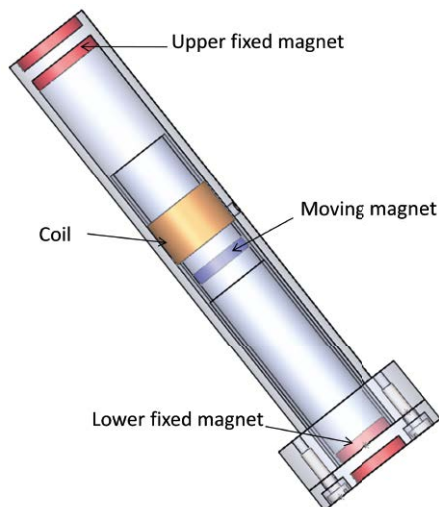
Kolejnym problemem do rozwiązania będzie konieczność zapewnienia stabilności wyników pomiarów w szerokim zakresie temperatury, który występuje podczas eksploatacji pojazdu. W praktyce może on rozciągać się od około -40 do ponad 100°C. W tej temperaturze otoczenia muszą też poprawnie działać inne obwody sensora, jak chociażby wspomniana wcześniej przetwornica boost – każdy elektronik wie, jak poważnym problemem w układach zasilania mogą być straty mocy.

Wspomniany sensor komunikuje się za pomocą fal radiowych. Można sobie wyobrazić, że transmisja danych może być jednokierunkowa – tylko do komputera centralnego, ale mimo wszystko i tak „gdzieś” trzeba umieścić antenę nadawczą i to w taki sposób, aby zapewnić jak największy zasięg nadajnika. Jak możemy się domyślić, znajdzie się ona w „główce” śruby, ponieważ ta wystaje ponad obiekt, w który jest wkręcona śruba – sensor. Ten obiekt mógłby być wykonany z metalu i tłumić fale radiowe.

Na tym nie koniec problemów. W związku z tym, że sensor może pracować w różnych miejscach o mniejszym lub większym poziomie wibracji, którymi dodatkowo jest zasilany, to musi być na nie odporny. Nie jest tajemnicą, że naprężenia mechaniczne powstające podczas wielokrotnego zginania i prostowania przewodu powodują jego złamanie. Konstruktor musi więc opracować czujnik w taki sposób, aby połączenia elektryczne i mechaniczne między poszczególnymi podzespołami nie uległy uszkodzeniu w jakimś rozsądnym i jak najdłuższym okresie eksploatacji, a przy tym zachowały swoje parametry elektryczne.

Realizacja praktyczna

Sensor mający kształt i wygląd śruby powstał we współpracy Technische Universität Chemnitz oraz firmy IK Elektronik GmbH z Niemiec. Budowę „śruby” pokazano na **rysunku 1**. Na tym samym rysunku widać różne części składowe sensora łączone – jak można się było tego spodziewać – w kanapkę z płytek drukowanych zawierających



Rysunek 2. Przykład konwertera energii mechanicznej na elektryczną ze stałymi i przemieszczającymi się elementami (źródło: IK Elektronik GmbH)

komponenty elektroniczne. Poszczególne płytki zawierają prostownik, przetwornicę podwyższającą napięcie, kondensatory przechowujące energię elektryczną, układ zarządzania zasilaniem, mikrokontroler z odpowiednim sensorem (zbliżeniowym, temperatury, ciśnienia lub innym), transceiver radiowy oraz antenę. Sporo miejsca w „gwincie” śruby zajmuje przetwornik drgań na napięcie elektryczne.

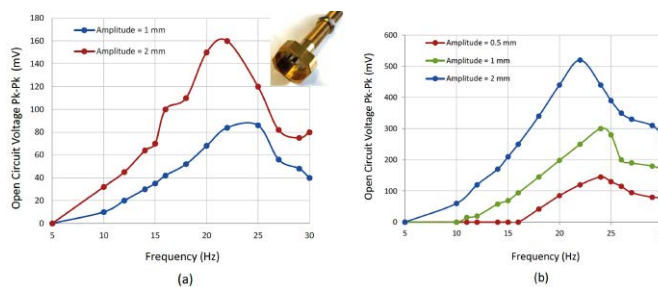
Dla przyśpieszenia prac, współpracujące podmioty podzieliły się zadaniami. Firma IK Elektronik wykonała układ zasilający, pracujący w szerokim zakresie wibracji i już przy niewielkim napięciu wejściowym, podwyższający napięcie i magazynujący je w kondensatorach. Jak wie każdy elektronik, od ilości zgromadzonej energii, pozostającej do dyspozycji np. mikrokontrolera, w dużej mierze zależy funkcjonalność urządzenia elektronicznego. Na nic zda się transceiver radiowy, jeśli nie zostanie on zasilony odpowiednią „porcją” energii. Do zadań firmy należało też wykonanie aplikacji sensora, mikrokontrolera nadzorującego pracę czujnika oraz układu do radiowej transmisji danych.

Naukowcy z TU w Chemnitz wykonali odpowiedni konwerter elektrodynamiczny. Mieści się on w „gwincie” śruby, a jego wydajność może być łatwo dopasowana do warunków eksploatacji sensora (do poziomu i częstotliwości wibracji występujących w otoczeniu).

Przykład konwertera energii mechanicznej na elektryczną ze stałymi i przemieszczającymi się elementami pokazano na **rysunku 2**. Wartość napięcia generowanego przez przetwornik zależy od natężenia i szybkości zmian pola magnetycznego, liczby zwojów oraz dobroci cewki, niezależnie od sposobu wykonania przetwornika, to jest czy ma ruchomą cewkę, czy ruchomy magnes. Naukowcy sprawdzili różne rozwiązania, aby ostatecznie wybrać bazujące na tzw. sprężynie magnetycznej. W tym rozwiązaniu ruchomy magnes stały jest umieszczony pomiędzy dwoma innymi magnesami stałymi, przyciśniętymi do obu końców przetwornika w taki sposób, że jest on odpychany przez obie strony. Energia mechaniczna drgań zmienia położenie ruchomego magnesu, który powoduje zmiany pola magnetycznego. Te zmiany są indukują w cewce w energię elektryczną używaną do zasilania sensora.

Tak wykonany przetwornik doskonale spełnia swoje zadanie i daje się łatwo dostosowywać do warunków panujących w aplikacji. Na **rysunku 3** pokazano wyniki badań prototypu wykonanego na TU Chemnitz. Na prezentowanych wykresach naniesiono napięcie występujące przy rozwartych zaciskach cewki (bez obciążenia generatora). Wibracje generowane przez wstrząsarke były monitorowane za pomocą czujnika laserowego. Ich amplituda mieściła się w zakresie 0,5...1,0 mm, a częstotliwość 5...30 Hz. Częstotliwość rezonansowa przetwornicy wynosi 25...30 Hz, zależnie od liczby zwojów cewki i jej wielkości, a także od amplitudy pobudzenia. Zachowując stałą wielkość cewki, a zmieniając jedynie parametry sprężyny magnetycznej można łatwo zmieniać częstotliwość rezonansową dopasowując wydajność generatora elektrodynamicznego do warunków aplikacji. Jak pokazują wyniki pomiarów, zastosowana metoda „energy harvesting” pozwala na uzyskanie napięcia rzędu 0,5 V (rys. 3) przy otwartych zaciskach obciążenia.

Jacek Bogusz, EP



Rysunek 3. Napięcie otwartych zacisków konwertera wykorzystującego sprężynę magnetyczną: a) amplituda drgań 1...2 mm, średnica drutu 0,2 mm; b) amplituda drgań 0,5...1 mm, średnicy drutu 0,09 mm (źródło: IK Elektronik GmbH)