

ZASTOSOWANIE TRANSFORMATY FALKOWEJ DO WYZNACZANIA PARAMETRÓW DIAGNOSTYCZNYCH ELEMENTÓW ZAWIESZEŃ SAMOCHODOWYCH

Janusz GARDULSKI, Jan WARCZEK

Politechnika Śląska, Wydział Transportu, Katedra Budowy Pojazdów Samochodowych
ul. Krasieńskiego 8, 40-019, Katowice (0-32)6034360, 6034164
gardulski@polsl.katowice.pl, warczek@polsl.katowice.pl

Streszczenie

Zawieszenie współczesnego samochodu osobowego zawiera między innymi elementy o nieliniowych charakterystykach tłumienia i sztywności. Powiązane jest ono z nadwoziem złożonymi układami łączników. W czasie eksploatacji założone charakterystyki ulegają zmianom, które wpływają na dynamikę całego układu. W efekcie następuje obniżenie bezpieczeństwa jazdy. Wyznaczanie cech stanu elementów składowych zawieszenia metodami wibroakustycznymi wymusza korzystanie z zaawansowanego aparatu matematycznego. Zastosowanie transformaty falkowej umożliwia precyzyjną filtrację pasmowo-przepustową przy zachowaniu informacji czasowej a co za tym idzie obserwację zmian energii drgań w ściśle określonym obszarze czasowo-częstotliwościowym. W referacie przedstawiono wyniki analizy falkowej sygnałów drganiowych generowanych przez zawieszenia o zidentyfikowanym stanie technicznym. Efektem przeprowadzonych badań, było wyznaczenie pasma częstotliwościowego, w którym na podstawie analizy zmian energii drgań można wykryć uszkodzenia elementów tłumiących.

Słowa kluczowe: amortyzatory, transformata falkowa, diagnostyka wibroakustyczna

USE WAVELET TRANSFORM TO DEFINITION THE PARAMETERS OF DIAGNOSTIC PARTS OF CAR SUSPENSIONS

Summary

Suspension of present of passenger car contains among other things the parts about non-linear characteristics of damping and stiffness. Folded bonding bars' arrangements it be related from body. In time of exploitation the established characteristics undergo the changes which influence on dynamics of whole arrangement. The lowering the safety of track in effect follows. Marking the property of state of component units suspension the vibroacoustics methods extorts usage advanced mathematical apparatus. Use wavelet transform it makes possible precise the filtrations band-passing near behavior of temporary information and what it for this goes the observation of changes of energy vibrations in closely the definite area in respect of time - frequency. It wavelet analyses in report were introduced was signals generated by suspension about identified it will stand up technical. The effect of conducted investigations in which, delimitation frequency strand was, on the ground the analysis of changes of energy vibrations was it been possible to detect the damages of units of damping.

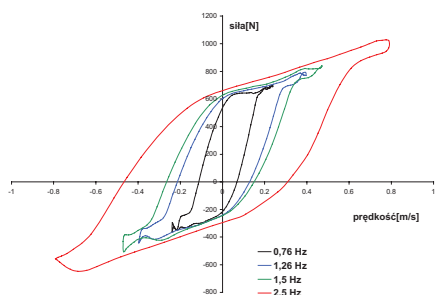
Keywords: shock-absorbers, wavelet transform, vibroacoustic diagnostics

1. WPROWADZENIE

Wyznaczenie parametrów diagnostycznych elementów składowych nieliniowego układu mechanicznego jest trudne ze względu na złożone relacje występujące pomiędzy nimi. Przykładem takiego obiektu technicznego jest zawieszenie współczesnego samochodu osobowego zawierające nieliniowe elementy tłumiące i sprężyste [1]. Decydujący wpływ na tłumienie drgań zawieszenia pasywnego mają amortyzatory – obecnie najczęściej teleskopowe, hydrauliczne. Siła tłumienia amortyzatora jest nieliniową funkcją prędkości ruchu tłoczka amortyzatora względem jego obudowy. Przykładową cha-

rakterystykę tłumienia amortyzatora teleskopowego przedstawia rys. 1.

W czasie eksploatacji założona nieliniowa charakterystyka tłumienia pogłębia się w wyniku czego następuje zmiana własności dynamicznych całego zawieszenia [2].



Rys. 1. Charakterystyka nowego amortyzatora samochodowego wyznaczona na stanowisku indykatorowym

2. CEL PRACY

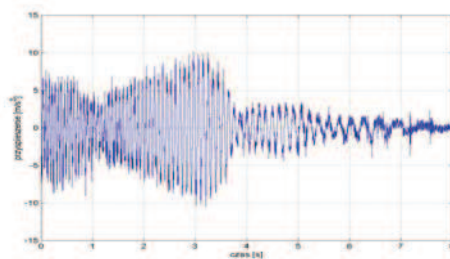
Celem pracy było określenie parametrów stanu technicznego amortyzatora samochodowego zabudowanego w zawieszeniu. Realizację tak postawionego zadania przeprowadzono wykonując szereg eksperymentów czynnych na obiekcie rzeczywistym o zidentyfikowanym stanie technicznym. Badano zawieszenie, w którym zabudowano amortyzatory z zaprogramowanymi uszkodzeniami. Do najczęstszych przyczyn zmian stanu technicznego amortyzatorów wynikających z jego eksploatacji należą:

- ubytek płynu amortyzatorowego,
- powiększenie się szczeliny w złożeniu tłoczek-uszczelnienie-cylinder,
- uszkodzenia zaworków.

Uszkodzenia zaworków powodują gwałtowną zmianę charakterystyki tłumienia natomiast pozostałe z w/w usterek wywołują stopniowe powiększanie się jej nieliniowości. Założono, że skutkiem normalnego zużycia eksploacyjnego jest ubytek płynu amortyzatorowego oraz powiększenie się szczeliny pomiędzy tłoczkiem i cylindrem amortyzatora. Te dwa rodzaje usterek zamodelowano w amortyzatorach stosując różne kombinacje napełnień płynem roboczym oraz ubytków uszczelnienia tłoczka.

3. OPIS BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH

Amortyzatory z zaprogramowanymi w/w niesprawnościami zabudowywane były w zawieszeniu samochodu osobowego. W badaniach wykorzystywano wymuszenie harmoniczne za pomocą wzbudnika drgań. W czasie badań rejestrowano pionowe przyspieszenia drgań przetwornikiem mocowanym w punkcie mocowania amortyzatora do nadwozia. Największy wpływ tłumienia na przyspieszenia drgań układu obserwowalny jest w jego częstotliwościach rezonansowych [3]. Procedura pomiarowa polegała na rejestracji sygnału drganiowego występującego po wyłączeniu wzbudnika przy przechodzeniu układu przez częstotliwości rezonansowe. Przykładowy wynik przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Przyspieszenia drgań nadwozia

Zarejestrowane sygnały cechuje niestacjonarność, której przyczynami są nieliniowe charakterystyki elementów sprężystych i tłumiących zawieszenia oraz zmienna częstotliwość drgań wynikająca z założeń dotyczących prowadzonych badań.

4. METODA ANALIZY

W przypadku analizy sygnałów niestacjonarnych o zmiennych cechach czasowych konieczne jest zastosowanie metod, które zachowują ich parametry czasowe. Aproksymacja sygnałów za pośrednictwem przedstawienia ich energii na płaszczyźnie czasowo-częstotliwościowej w praktyce realizowana jest zwykle jako gęstość energii aproksymowana w punktach pewnego dyskretnego zbioru tej płaszczyzny [4]. Jedną z tego typu przekształceń jest krótko-czasowa transformata Fouriera, polegająca na tym, że sygnał, który ma być aproksymowany, zostaje najpierw pomnożony przez funkcję okna (wagi) $w(t)$. Rozmiary okienka są sztywno narzucone i dlatego rozdzielczość tej analizy jest pewnym kompromisem pomiędzy czytelnością informacji czasowych lub częstotliwościowych.

Tej wady pozbawiona jest transformata falkowa stosowana w analizie sygnałów niestacjonarnych [5, 6], którą można zapisać jako:

$$WT(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi_{ab}(t) dt \quad (1)$$

gdzie:

$f(t)$ - analizowany sygnał,

$\psi_{ab}(t)$ - baza falkowa.

Przekształcenie falkowe jest liniowym przekształceniem czasowo-częstotliwościowym sygnału. Transformata ta koreluje przetwarzany sygnał z elementami rodziny funkcji (falek) dobrze zlokalizowanych w czasie i częstotliwości. Falka definiowana jest następująco:

$$\psi_{ab}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2)$$

gdzie:

$a \in R^+$ - skalowanie względem częstotliwości,

$b \in R$ - przesunięcie względem czasu.

Funkcja $\psi(t)$ jest filtrem środkowo-przepustowym. Duże wartości parametru a ($a \gg 1$) odpowiadają szerokim funkcjom bazy i w związku z tym mogą wyizolować długotrwałe cechy dynamiki sygnału, a w szczególności jego zachowanie się w stanie ustalonym. Małe wartości parametru a ($0 < a < 1$) prowadzą do wąskich funkcji bazy, które pomagają zidentyfikować krótkotrwałe zachowania się sygnału. Falka podstawowa $\psi(t) = \psi_{10}(t)$ charakteryzuje się skalą $a=1$ i przesunięciem $b=0$. Czynnikiem $\frac{1}{\sqrt{a}}$ zapewnia by

energia falki nie zmieniała się ze zmianą skali. Zmiany lokalizacji względem czasu i częstotliwości dokonuje się przez skalowanie. Falka $\psi(t)$ posiada kostkę Heisenberga $(a\sigma_t, \sigma_\omega / a)$, to znaczy w wyniku skalowania następuje rozciągnięcie kostki w czasie i kompresja względem częstotliwości, przy czym jej powierzchnia pozostaje niezmienną. A zatem wybór konkretnej skali jest podyktowany potrzebą zwiększenia rozdzielczości względem czasu lub częstotliwości. Cechą przekształcenia falkowego jest posiadanie okienek o różnych nośnikach czasowych.

Rozwinięcia sygnałów oparte na bazach falkowych nie dają się dobrze dopasować do reprezentacji sygnałów o wąskich widmach częstotliwościowych położonych w zakresie wielkich częstotliwości. W takim przypadku współczynniki rozwinięcia falkowego nie odzwierciedlają charakteru sygnału w sposób widoczny i ostry, ponieważ informacja o sygnale zostaje rozcieńczona w całej bazie. Większość energii falki podstawowej $\psi_{10}(t)$ zawiera się w pewnym przedziale $[\omega_{\max}, \omega_{\min}]$. Jej transformata Fouriera $\Psi(\omega)$ poza tym przedziałem jest do pominięcia. Możemy więc mówić o szerokości jej pasma:

$$B_0 = \omega_{\max} - \omega_{\min} \quad (3)$$

Pasma B_0 falki podstawowej jest tożsame z szerokością kostki Heisenberga σ_ω w kierunku osi częstotliwości.

$$\sigma_\omega = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^\infty (\omega - \omega_0)^2 |\Psi(\omega)|^2 d\omega} \quad (4)$$

gdzie częstotliwość środkowa falki podstawowej:

$$\omega_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^\infty \omega |\Psi(\omega)|^2 d\omega \quad (5)$$

Stąd dla falki o skali a pasmo i częstotliwość środkowa wynoszą:

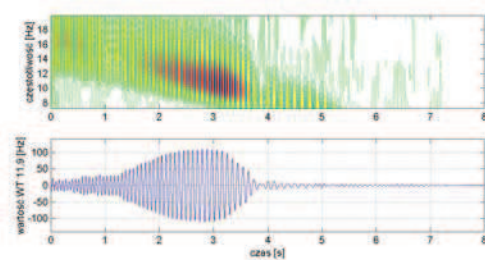
$$B_a = \frac{B_0}{a} = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{a}, \quad \omega_a = \frac{\omega_0}{a} \quad (6)$$

Transformata falkowa przy mniejszych skalach wyodrębnia składowe wysokoczęstotliwościowe analizowanego sygnału. Zwiększenie skali powoduje przesunięcie reprezentowanego przez falkę filtru środkowoprzepustowego w kierunku mniejszych częstotliwości. Jednocześnie, dla rosnącej skali, mamy zmniejszenie pasma, czyli zwiększenie rozdzielczości w dziedzinie częstotliwości. Częstotliwość środkowa ω_0 i pasmo B_0 zależą od wybranej falki analizującej.

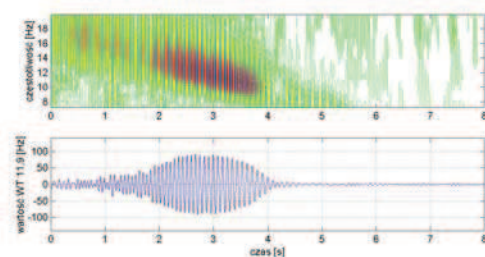
Pasma częstotliwości rezonansowych zawieszenia analizowano przy wykorzystaniu falki Morleta, której pasmo B_0 wynosi: 1,701 natomiast częstotliwość środkowa $\omega_0 = 2\pi f_0 = 5$. Częstotliwości rezonansowe nadwozia badano falką z rodziny symlet. Zastosowano falkę sym8, pasmo $B_0 = \pi$ a częstotliwość $\omega_0 = \pi$.

5. WYNIKI ANALIZ

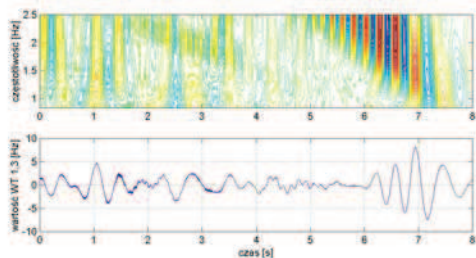
Przykładowe wyniki analiz w paśmie częstotliwości rezonansowych zawieszenia przedstawiono na rysunkach 3 i 4. Rysunki 5 i 6 przedstawiają wyniki uzyskane przy analizie częstotliwości rezonansowych nadwozia.



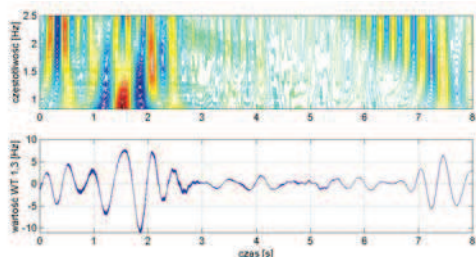
Rys. 3. Wynik analizy uzyskany dla nowego amortyzatora



Rys. 4. Wynik analizy przy uszkodzeniu uszczelnienia tłoczka



Rys. 5. Wynik analizy uzyskany dla nowego amortyzatora



Rys. 6. Wynik analizy uzyskany przy uszkodzonym uszczelnieniu tłoczka

Uszkodzenia amortyzatora powodują spadek wartości współczynników falkowych WT w okolicach częstotliwości rezonansowej zawieszenia w paśmie zawierającej w/w częstotliwość. Natomiast w paśmie częstotliwości rezonansowej nadwozia następuje obserwowalny wzrost WT w chwili przechodzenia układu przez częstotliwość rezonansu zawieszenia.

6. WNIOSKI KOŃCOWE

Filtracja wąskopasmowa niestacjonarnego sygnału pozwala na wyizolowanie informacji czasowo-częstotliwościowych związanych z wybranymi jego składowymi. W przypadku sygnałów drgań swobodnych zawieszonych samochodowych obserwacja zmian ilości energii w pasmach zawierających podstawowe częstotliwości rezonansowe mas resorowanych i nieresorowanych pozwala na rozpoznanie efektów powiązanych ze zmianami stanu technicznego amortyzatora. Po przypisaniu im odpowiednich parametrów stanu i wyznaczeniu granicznych wartości przy poszczególnych usterkach, będzie je można zastosować w diagnostyce eksploatacyjnej amortyzatorów samochodowych.

LITERATURA

- [1] Reipell J., Betzler J.: Podwozia samochodów – podstawy konstrukcji. WKiŁ Warszawa, 2001
- [2] Gardulski J., Warczek J.: Moc tłumienia jako parametr diagnostyczny amortyzatorów samochodowych. *DIAGNOSTYKA*, vol. 29, 2003r. Warszawa, str. 69-72

- [3] Kamiński E., Pokorski J.: Dynamika zawieszonych i układów napędowych pojazdów samochodowych. WKiŁ, Warszawa 1983
- [4] Gardulski J., Warczek J.: Wykorzystanie analizy czasowo-częstotliwościowej w diagnostyce zawieszonych pojazdów samochodowych. *Przegląd Mechaniczny* nr 7-8 2003, str. 46-48
- [5] Batko W., Ziółko M.: Zastosowanie teorii falek w diagnostyce technicznej. Problemy inżynierii mechanicznej i robotyki. Kraków, 2002.
- [6] Białasiewicz J. T.: Falki i aproksymacje. WNT, Warszawa 2000



Prof. nz. dr hab. inż. Janusz Gardulski jest pracownikiem naukowym Katedry Budowy Pojazdów Samochodowych Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej. Zainteresowania badawcze: diagnostyka wibroakustyczna, dynamika zawieszonych pojazdów samochodowych, modelowanie

nieliniowych obiektów mechanicznych, minimalizacja hałasu i drgań w obiektach technicznych. Jest autorem i współautorem 3 monografii, książek i skryptów, ok. 70 artykułów opublikowanych w czasopiśmie i materiałach konferencyjnych. Członek PTPE, PTDT, oraz różnych sekcji Komitetu Budowy Maszyn i Komitetu Transportu PAN.



Mgr inż. Jan Warczek jest doktorantem w Katedrze Budowy Pojazdów Samochodowych Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej. Zainteresowania badawcze: diagnostyka eksperymentalna i symulacyjna elementów zawieszonych pojazdów

samochodowych z wykorzystaniem min. metod wibroakustycznych, dynamika zawieszonych samochodowych.