

Mirosław LUFT<sup>1</sup>  
Radosław CIOĆ<sup>2</sup>  
Daniel PIETRUSZCZAK<sup>3</sup>

## **WYBRANE PROBLEMY POMIARÓW DYNAMICZNYCH DRGAŃ WAGONÓW KOLEJOWYCH ZGODNYCH Z NORMĄ UIC 518**

*Artykuł przybliża problem opóźnień czasowych, które występują w pomiarach dynamicznych drgań pojazdów szynowych a zgodnych z normą UIC 518.*

*Problem ten wynika ze zdefiniowania przez normę transmitancji operatorowej filtra środkowo-przepustowego ograniczającego badane częstotliwości drgań i nieprzewidującego szybkich pomiarów.*

*Zaprezentowano założenia normy UIC 518 oraz przyczyny powstawania błędów pomiaru ze szczególnym uwzględnieniem błędów powodowanych przez definiowany filtr.*

## **SELECTED PROBLEMS IN DYNAMIC VIBRATIONS MEASUREMENTS OF RAILWAY WAGONS IN CONFORMITY WITH THE UIC 518 NORM**

*The paper presents problem of time delays in dynamic vibrations measurements of railway wagons in conformity with the UIC 518 norm.*

*The problem comes from definition by the UIC 518 norm transfer function of band-pass filter limiting the vibrations frequencies and not taking fast measurements into consideration.*

### **1. WSTĘP**

Jednym z typów badań mających potwierdzić bezpieczeństwo użytkowania pojazdów oraz parametry drgań określające ich przydatność do konkretnych zastosowań transportowych są badania wibracyjne pojazdów szynowych. [1, 10, 11, 13]

Wymagania dotyczące dynamicznych zachowań pojazdów szynowych z punktu widzenia parametrów bezpieczeństwa, zmęczenia toru czy jakości jazdy opisane są

---

<sup>1</sup> Prof. Mirosław Luft, Politechnika Radomska, Wydział Transportu i Elektrotechniki,  
ul. Malczewskiego 29, 26-600 Radom, m.luft@pr.radom.pl

<sup>2</sup> Radosław Cioć, dr inż., Politechnika Radomska, Wydział Transportu i Elektrotechniki,  
ul. Malczewskiego 29, 26-600 Radom, r.cioc@pr.radom.pl

<sup>3</sup> Daniel Pietruszczak, mgr inż., Politechnika Radomska, Wydział Transportu  
i Elektrotechniki, ul. Malczewskiego 29, 26-600 Radom, d.pietruszczak@pr.radom.pl

dokumencie organizacji *Union Internationale des Chemins de Fer* (ang.: *International Union of Railways*) – UIC 518. Normy w nim zawarte są częścią dokumentacji akceptującej dopuszczenie pojazdu szynowego do ruchu w Europie.

Norma UIC 518 określa między innymi warunki wykonania testów, mierzone wielkości odnoszące się do zachowań dynamicznych pojazdu, warunki pozwalające na automatyczne i statystyczne pomiary, warunki dopuszczające do ruchu. [1, 12]

## 2. TESTY POJAZDÓW SZYNOWYCH WEDŁUG NORMY UIC 518

Pojazdy szynowe dopuszczane są do ruchu na podstawie parametrów wyznaczonych w testach:

- ruchu pojazdu po torze o określonej geometrii i z określoną prędkością,
- geometrii styków koło – tor,
- stanu pojazdu,
- pomiaru wielkości odnoszących się do dynamicznych zachowań pojazdu,
- spełnienia warunków automatycznych pomiarów i statystycznego przetwarzania danych,
- oszacowania mierzonych wielkości,
- wyznaczenia granicznych wartości mierzonych wielkości.

W tabeli 1 przedstawiono mierzone wielkości i miejsca ich pomiaru określone normą UIC 518.

*Tabela 1. Mierzone wielkości oraz miejsca pomiaru parametrów dynamicznych pojazdów szynowych [1, 12]*

Opis	Symbole	Jednostki	Filtrowanie danych zapisanych	
			na taśmie magnetycznej (3)(4)	graficznie (3)
Poprzeczne siły koło-szyna w dwóch osiach (1)	$Y_{11}, Y_{12}$ $Y_{21}, Y_{22}$	kN	$\geq 40$ Hz	$\geq 10$ Hz
Poprzeczne siły oś-tor w dwóch osiach (1)	$H_1, H_2$	kN	$\geq 40$ Hz	$\geq 10$ Hz
Podłużne siły koło-szyna w dwóch osiach (1)	$Q_{11}, Q_{12}$ $Q_{21}, Q_{22}$	kN	$\geq 40$ Hz	$\geq 10$ Hz
Poprzeczne przyspieszenia na końcach nadwozia pojazdu (2)	$\ddot{Y}_1^*, \ddot{Y}_2^*$	m/s <sup>2</sup>	$\geq 40$ Hz	$\geq 10$ Hz
Podłużne przyspieszenia na końcach nadwozia pojazdu (2)	$\ddot{z}_1^*, \ddot{z}_2^*$	m/s <sup>2</sup>	$\geq 40$ Hz	$\geq 20$ Hz
Poprzeczne przyspieszenia na końcach nadwozia pojazdu (2)	$\ddot{Y}_1^+, \ddot{Y}_2^+$	m/s <sup>2</sup>	$\geq 40$ Hz	$\geq 10$ Hz

(1) minimum na pierwszej i ostatniej osi pułta pojazdu  
(2) na powierzchni podłogi, wzdłuż podłużnych osi  
- dla dwuosowego pojazdu: nad osiami  
- dla wózka pojazdu: nad wózkami  
- dla zespołu trakcji: w kabinie maszynisty  
(3) odcięcie częstotliwości filtru dolnoprzepustowego -3dB, gradient  $\geq 24$  dB/oktawę  
(4) przy przenoszeniu na komputer szerokość pasma częstotliwości musi być większa lub równa 20 Hz

Norma definiuje ponadto:

- sposób przeprowadzenia pełnej procedury pomiarowej (rodzaj testowanej strefy geometrii toru, ładunek pojazdu),
- sposób przeprowadzenia częściowych testów (w celu możliwej kombinacji testów),
- metody pomiarowe:
  - metodę prawidłową (pomiarów interakcji sił między kołem a torem oraz przyspieszeń nadwozia pojazdu),
  - metodę uproszczoną (pomiarów bocznych sił działających na zestaw kołowy i/lub pomiarów przyspieszeń zestawu kołowego, ramy i nadwozia pojazdu).

Obligatoryjnie mierzonymi wielkościami są:

- siły docisku koło-szyna w poprzecznym (Y) i podłużnym (Q) kierunku na najmniejszych zewnętrznych dwóch osiach pojazdu lub wózka, zależnie od tego, czy pojazd jest wyposażony w oddzielne osie lub wózek,
- poziome i pionowe przyspieszenia na końcach nadwozia pojazdu powyżej wózka lub powyżej osi wewnątrz pudła pojazdu z rozdzielonymi kierunkami osi poprzecznej ( $\ddot{y}^*$ ) i podłużnej ( $\ddot{z}^*$ ). Pomiarów muszą być wykonane na powierzchni podłogi wagonu lub, gdy pojazd nie ma podłogi - na górnej części ramy w punkcie wskazanym w sprawozdaniu z testowania.

Obliczane wielkości potrzebne do analizy wykonanych testów to:

- siły między kołem i szyną w kierunku poprzecznym (Y) i podłużnym (Q),
- suma kierunkowych sił na oś  $\Sigma Y$  dla wszystkich osi użytych w urządzeniach pomiarowych,
- stosunek Y/Q na koło dla kierunkowych osi,
- przyspieszenia na pudle pojazdu ( $\ddot{y}^*$  i  $\ddot{z}^*$ ).

Norma UIC 518 określa zakres przedziału mierzonych częstotliwości wielkości pomiarowej od 0,4 Hz do 10 Hz. Definiuje też stosowany w tym celu filtr, znajdujący się w torze pomiarowym za przetwornikiem analogowo-cyfrowym. Ma on tolerancję wzmocnienia  $\pm 0,5$  dB w paśmie roboczym częstotliwości od 0,4 do 10 Hz oraz  $\pm 1$  dB na zewnątrz zakresu (Rys. 1.). Zgodnie z normą UIC 518 transmitancja filtra opisana jest wyrażeniem:

$$A(s) = \frac{4\pi^2 f_2^2 s^2}{\left( s^2 + \frac{2\pi f_1}{Q_1} s + 4\pi^2 f_1^2 \right) \left( s^2 + \frac{2\pi f_2}{Q_1} s + 4\pi^2 f_2^2 \right)} \quad (1)$$

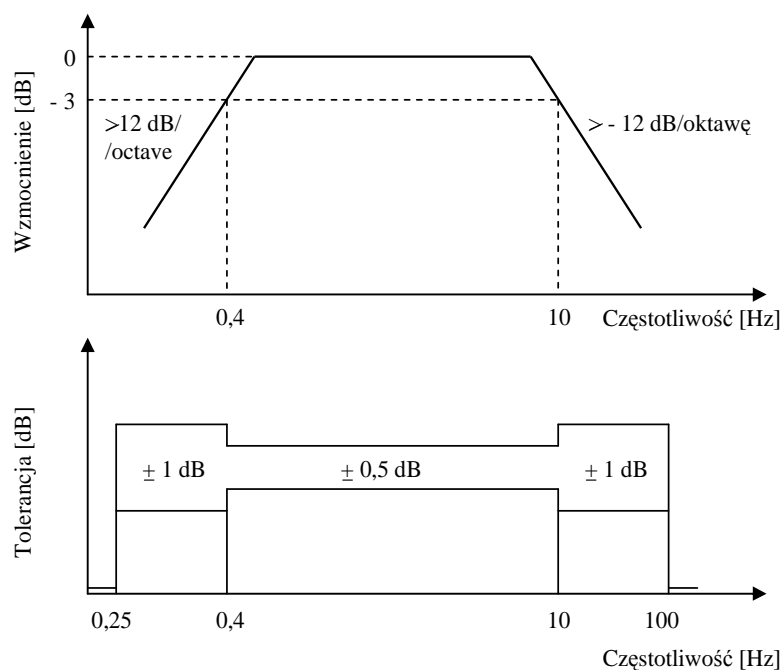
gdzie:

$$f_1 = 0,4 \text{ Hz,}$$

$$f_2 = 10 \text{ Hz,}$$

$$Q_1 = 0,71$$

Teoretyczne, założone w normie UIC 518, charakterystyki wzmocnienia i tolerancji filtra pokazano na rysunku 1.



Rys.1. Charakterystyka wzmocnienia i tolerancji filtra środkowo-przepustowego określonego normą UIC 518 [12]

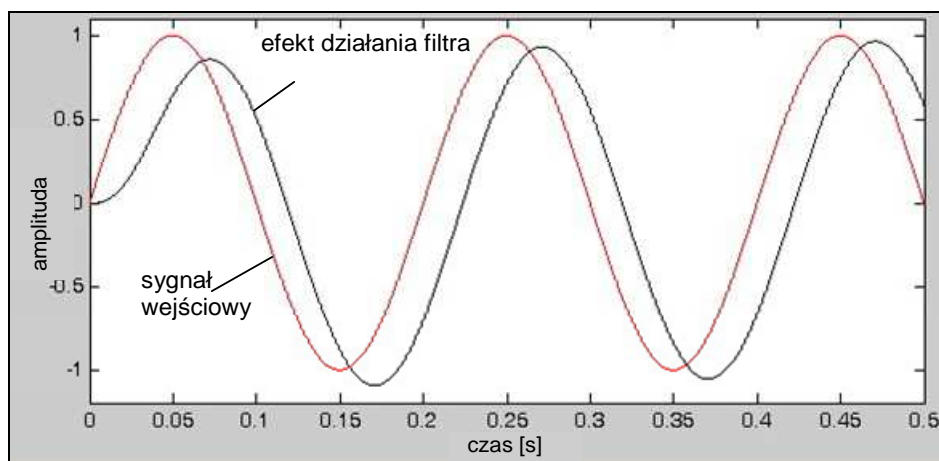
Na rysunku 2a pokazano odpowiedź transmitancji filtra na sinusoidalny sygnał wejściowy o częstotliwości 5 Hz – mieszczącej się w zakresie pracy filtra. Rysunek 2b pokazuje odpowiedź filtra na ten sam sygnał z dodanym szumem Gaussa.

Norma UIC 518 nie precyzuje, jakiego rodzaju czujniki i urządzenia oraz jakich klas pomiarowych mają być użyte. Dowolność stosowania sprzętu powoduje, że prawidłowość i dokładność pomiaru zależy od projektanta toru pomiarowego.

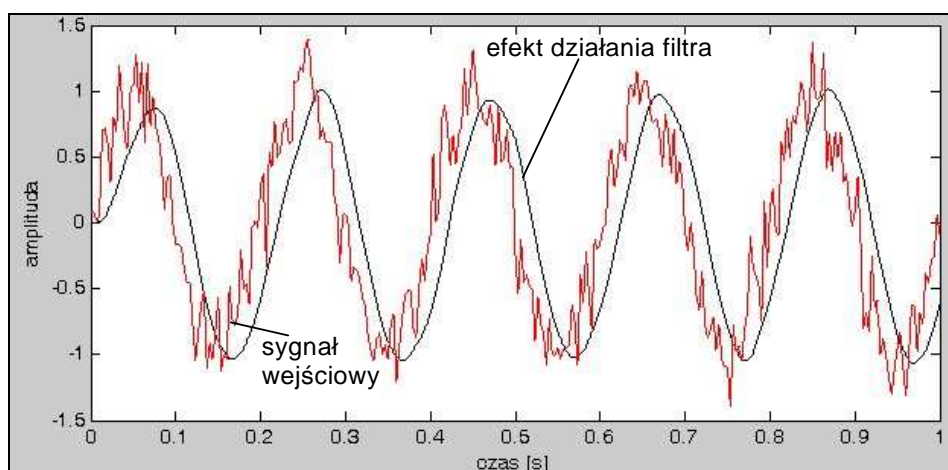
Ze względu na właściwości przetwarzania sygnału przez stosowane urządzenia oraz ich mnogość, istnieje konieczność zwrócenia szczególnej uwagi na błędy przez nie powodowane (często wzmacniane przez następne elementy toru pomiarowego).

Zgodnie z wymaganiami normy UIC 518, badania diagnostyki wibracyjnej wykonuje się w dwóch etapach. Pierwszy etap to pobieranie i rejestracja danych z czujników pomiarowych. Drugi etap dotyczy filtracji i opracowania wyników uzyskanych pomiarów w warunkach laboratoryjnych, zgodnie z metodyką zawartą w normie UIC 518.

a)



b)



Rys.2. Działanie filtra środkowo-przepustowego: a) na przebieg sinusoidalny o częstotliwości 5 Hz; b) na zakłócony sygnał sinusoidalny (zastosowana na rysunkach notacja kropkowa do prezentacji cyfr dziesiętnych wynika z użycia środowiska MATLAB do wizualizacji charakterystyk)

Głównymi przyczynami błędów procesu pomiaru są:

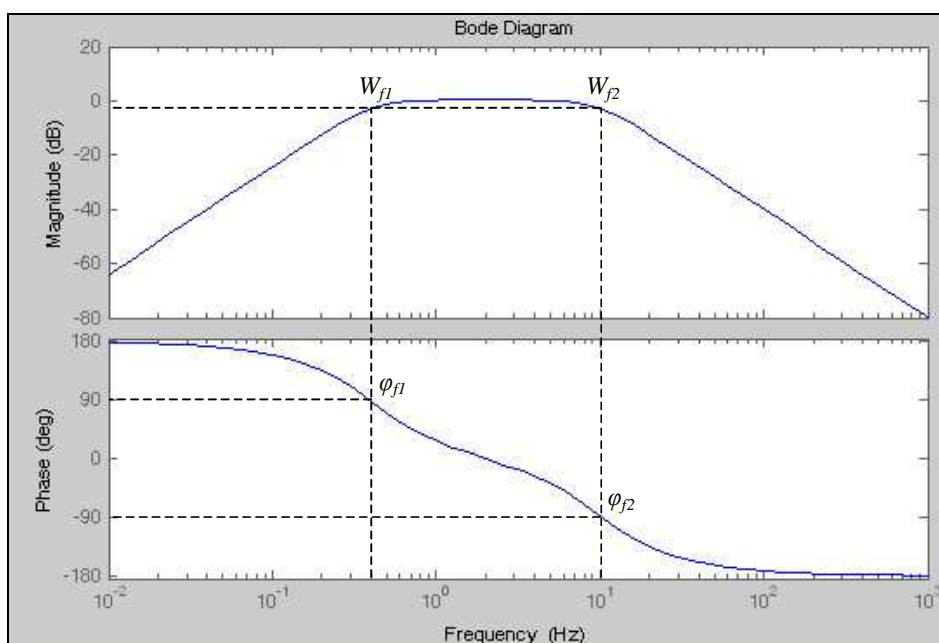
1. Odtwarzanie mierzonej wielkości przez układ pomiarowy,
2. Właściwości działania filtra środkowo-przepustowego.

W przypadku pierwszym chodzi o niedoskonałość czujników pomiarowych nieidealnie przetwarzających mierzone przyspieszenie lub siłę na wielkość elektryczną oraz błędy wynikające z nieidealnego przetwarzania sygnałów pomiarowych przez wzmacniacze pomiarowe i następne elementy toru pomiarowego. W drugim przypadku nakaz normy UIC 518 co do stosowania filtra o transmitancji (1) powoduje przesunięcie w fazie badanego przebiegu oraz zmianę wartości chwilowych amplitudy sygnału.

Ubočnym działaniem układu filtrującego jest przesunięcie mierzonego przebiegu (Rys. 2a) w czasie o 0,175 s.

Charakterystyki Bodego dla filtra o transmitancji (1) pokazane są na rysunku 3.

W zakresie przepustowym filtra: od 0,4 Hz do 10 Hz, widać przesunięcie fazy, odpowiednio  $\varphi_{f1} = 90^\circ$  dla dolnej granicy i  $\varphi_{f2} = -90^\circ$  dla górnej granicy, przy wzmocnieniu w skrajnych punktach  $W_{f1}$  i  $W_{f2}$  równych  $-3\text{dB}$ .



Rys.3. Charakterystyki Bodego filtra środkowo-przepustowego stosowanego w pomiarach drgań pojazdów szynowych [1]

### 3. WNIOSKI

Odpowiedź filtra o transmitancji operatorowej (1) na sygnał o częstotliwości  $f = 0,4$  Hz jest przesunięcie w fazie o kąt  $90^\circ$  (rysunek 3). Daje to czasowe przesunięcie odpowiedzi filtra o 62,5 ms. Przy założeniu, że w przypadku ciągłych pomiarów wykonywanych w pojazdach, czas przetwarzania danych przez układ pomiarowy nie może być większy niż 20 ms, a w szczególnych przypadkach nawet mniejszy, stosowanie filtra o transmitancji (1) nie pozwala na prowadzenie pomiarów w czasie rzeczywistym.

Celem artykułu było pokazanie, że w przypadku tego typu pomiarów konieczne jest zastosowanie innego typu filtra lub stosowanie korektorów.

Autorzy w pracach [1, 2, 7, 8, 9, 10, 11] podjęli udaną próbę zastosowania programowej korekcji [5] charakterystyk przetwarzania przetworników pomiarowych zmniejszających wartość błędów dynamicznych i możliwej w realizacji w trakcie dynamicznych bieżących pomiarów przy zachowaniu zgodności z normą UIC 518. Badania skuteczności algorytmu korekcji wykonane zostały na wagonie typu Faals. Po korekcji uzyskano zmniejszenie wartości badanych miar: błędu dynamicznego, błędu średniokwadratowego i mediany błędu względnego. Ponadto zmierzony czas działania algorytmu wyniósł 0,1 $\mu$ s. Taka wartość predestynuje ten algorytm do bieżącej pracy przetwornika pomiarowego.

#### 4. LITERATURA

- [1] Cioć R.: *Korekcja charakterystyk dynamicznych przetworników pomiarowych w diagnostyce wibracyjnej wagonu kolejowego*, Rozprawa doktorska, Biblioteka Główna Politechniki Radomskiej, Radom 2007,
- [2] Cioć R.: *Metoda ARX w kontekście identyfikacji parametrów korekcji dynamicznej systemu pomiarowego drgań*, Prace Naukowe PRad., Elektryka nr 1(9), Radom 2005
- [3] Cioć R.: *Eliminations of negative effects of the filter operations (according to the UIC 518 norm) on measurements result in railway vehicles vibration research*, Advances in Transport Systems Telematics Monograph 2, Katowice 2007
- [4] Hagel R., Zakrzewski J.: *Miernictwo dynamiczne*, WNT, Warszawa 1984
- [5] Jakubiec J.: *Bieżące programowe odtwarzanie wartości chwilowych dynamicznych przebiegów wejściowych nieliniowych przetworników pomiarowych*, Politechnika Śląska, Zeszyty naukowe nr 964, Gliwice 1988
- [6] Luft M., Cioć R., Pietruszczak D.: *Increasing the accuracy of non-linear measuring transducer processing*, Advances in Transport Systems Telematics, Monographs, Silesian University of Technology, Katowice 2008
- [7] Luft M., Cioć R., Pietruszczak D.: *Correction of measuring track processing errors in vibration measurements of coal wagon*, The 4<sup>th</sup> International Conference on Electrical and Control Technologies, Kaunas University of Technology, Lithuania, pp 87-92, ISSN 1822-5934, Kaunas 2009
- [8] Luft M., Cioć R., Szychta E.: *Correction of processing errors in vibration measurements of wagon Faals type*, VII. Medzinardna vedecka a odborna konferencia "Nove smery v diagnostike a opravach elektryckych strojov a zariadeni" Zbornik prednasok, Diagnostika 2008, s.14-18, Zuberec 2008
- [9] Luft M., Krzysztozek K., Cioć R., Pietruszczak D.: *Analiza właściwości i synteza przetworników z dynamiczną korekcją błędów – dla badania i diagnostyki środków transportu*, Praca naukowo-badawcza PRad, nr tematu: 2268/47/P, Radom 2005-2007
- [10] Luft M., Szychta E., Cioć R., Pietruszczak D.: *Time delays in dynamic vibrations measurements of railway wagons in conformity with the UIC 518 norm*, Advances in Transport Systems Telematics, pp 185-190, (ISBN 978-83-206-1753-5), WKŁ, Warszawa 2009

- [11] Luft M., Szychta E., Cioć R.: *Programmatic correction of errors of measuring track processing*, Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, editor A. Weintrit, CRC Press/Bakelema 2009
- [12] *Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour – Safety – Track fatigue – Ride quality*, Leaflet UIC 518, International Union of Railways, 3<sup>rd</sup> edition, October 2005
- [13] *Zastosowania kolejowe. Wyposażenie taboru kolejowego. Badanie odporności na udary mechaniczne i wibracyjne*, Polska Norma PN-EN 61373 Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2003