

Arkadiusz GANCARCZYK¹, Bogdan IWIŃSKI²

¹POLITECHNIKA ŚLĄSKA, INSTYTUT METROLOGII, ELEKTRONIKI I AUTOMATYKI, ul. Akademicka 10,44-100 Gliwice

²VERITECH SP.Z.O.O., ul. Kłodnicka 97, 41-706 Ruda Śląska

System pomiarowy czasu rzeczywistego do pomiaru parametrów geometrycznych kół pojazdów tramwajowych

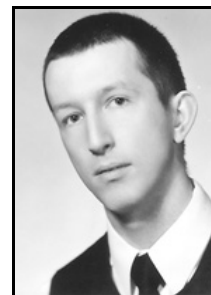
Mgr inż. Arkadiusz GANCARCZYK



Dyplom inż. uzyskał w 2005r. na Wydziale Matematyczno-Fizycznym Politechniki Śląskiej na kierunku elektronika i telekomunikacja o specjalności optoelektronika i technika światłowodowa. W 2007r. na Wydziale Elektrycznym uzyskał stopień mgr. Obecnie uczy się na studia doktoranckie w Instytucie Metrologii, Elektroniki i Automatyki Politechniki Śląskiej. Działalność naukową realizuje w obszarze badań kompatybilności elektromagnetycznej, metrologii i projektowania komputerowych systemów pomiarowych.

e-mail: arkadiusz.gancarczyk@polsl.pl

Mgr inż. Bogdan IWIŃSKI



W 2003 roku ukończył studia na Wydziale Matematyczno-Fizycznym Politechniki Śląskiej na kierunku fizyki technicznej. W 2008 roku ukończył podyplomowe studia z zakresu zarządzania projektami w Wyższej Szkole Europejskiej im. J. Tishnera. Od 2003 roku zajmuje się projektowaniem i wykonywaniem specjalizowanego oprogramowania do pomiarów i testów. Od 2007 współwłaściciel firmy Veritech, zajmującej się tworzeniem specjalistycznych i zaawansowanych rozwiązań kontrolno-pomiarowych.

e-mail: b.iwinski@veritech.pl

Streszczenie

W artykule zaprezentowano opis realizacji nowoczesnego rozwiązania jakie zostało użyte w komputerowym systemie pomiarowym parametrów kół pojazdów tramwajowych. Zastosowane rozwiązanie sprzętowe wykorzystuje system czasu rzeczywistego oraz układ FPGA, które zostały odpowiednio oprogramowane z wykorzystaniem graficznego środowiska programowania LabVIEW. Przedstawiono także sposób realizacji programu, funkcjonalność oraz zalety zrealizowanego rozwiązania.

Słowa kluczowe: system czasu rzeczywistego, LabVIEW, parametry geometryczne kół tramwajowych.

Real-time system for measuring parameters of the tramway vehicle wheels

Abstract

The paper presents a description of the implementation of the modern solution that has been used in a computer system for measuring performance tram vehicle wheels. The solution is based on a real time system and the layout of FPGAs, which has been suitably programmed using the LabVIEW graphical programming environment. All functionalities of the control and data acquisition are implemented in the measurement system. The measured profiles of wheel (Fig. 1) are described in section 2. The next section presents the hardware solution and the structure of the whole system (Fig. 3) which were used in the tram depot. Brief description of the functionality is given. Functionalities of the designed control unit make it possible to compute geometrical parameters of the wheel. The software is characterized in section 3. The section also shows the structure of the software used (Fig. 5, 6). The developed algorithms provide higher quality of measurement, access to samples, easy modification, and rapid measurement by analysis of the laser signal. Application of LabVIEW tools allows to improve the accuracy of the results obtained. In the last part of the article the additional advantages resulting from the applied solution are presented.

Keywords: Real-time measurement system, LabVIEW, parameters tram of the wheel.

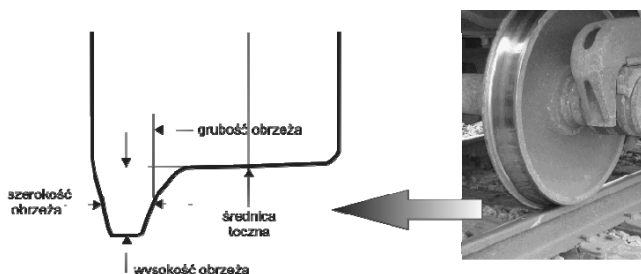
1. Wstęp

W taborze kolejowym istnieją przepisy i normy narzucające warunki techniczne, które dotyczą zużycia profili kół pojazdów szynowych podczas ich eksploatacji. Wymagana jest tym samym bieżąca kontrola zmian wartości poszczególnych parametrów geometrii koła, która pozwala śledzić postępującą degradację jego profilu. W ostatnich latach pojawiły się nieliczne jeszcze, bezobsługowe komputerowe systemy pomiarowe umożliwiające pomiar parametrów geometrycznych kół, zastępując tym samym manualną ich kontrolę. Wspomniane systemy instalowane są w zajezdni, a wyniki pomiaru otrzymuje się na podstawie analizy sygnałów z kamer i czujników laserowych. Ważnym elementem takiego stanowiska jest komputer funkcjonujący w sposób autonomiczny.

Zawiera on specjalistyczne oprogramowanie, którego głównym zadaniem jest przetwarzanie danych zebranych podczas pomiaru. Wyniki natomiast przesyłane są do lokalnej bazy danych, która zawiera raporty ze wszystkich dokonywanych pomiarów. Stacjonarne systemy do pomiarów kół zaprojektowane są do pracy automatycznej, nie wymagającej zaangażowania ze strony operatora, realizując pomiary przy niewielkich prędkościach pojazdu. Cykl pomiarowy rozpoczyna się od wykrycia obecności pojazdu przez czujniki. Kolejne osie wykrywane są przez czujniki obecności osi i oświetlane są wiązką laserowego światła z czujników optycznych, natomiast konkretne wagony identyfikowane są za pomocą techniki radiowej. Badanie całego pojazdu trwa tyle co jego przejazd przez stanowisko pomiarowe, więc wyniki są dostępne na ekranie monitora natychmiast po opuszczeniu stanowiska przez badany pojazd.

2. Parametry geometryczne kół

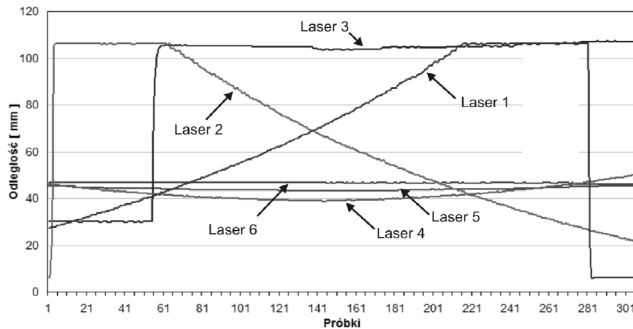
Zużyte koła wagonu, które mają przekroczone dopuszczalne wartości parametrów geometrii profilu poddawane są regeneracji w zajezdni, co przedłuża ich żywotność eksploatacyjną. Wymagania techniczne stawiane kołom tramwajowym nowym lub zregenerowanym dotyczą takich parametrów jak: rozstaw i szerokość nabiegania oraz oddzielnie dla lewego i prawego koła grubość, szerokość, wysokość obrzeża i średnica toczna. Zostały one przedstawione w sposób graficzny na rys. 1.



Rys. 1. Profil koła tramwajowego z zaznaczonymi parametrami geometrycznymi
Fig. 1. Tram wheel profile with selected geometrical parameters showed

Parametry te wyliczane są na podstawie obróbki i analizy sygnałów otrzymanych z zestawu 12 czujników laserowych (6 czujników na pojedyncze koło osi), rozmieszczonych na stanowisku pomiarowym. Każdy z laserów odpowiednio oświetla swoją wiązką fragment koła podczas przejazdu tramwaju. Stanowisko z zamontowanymi czujnikami laserowymi było wykonane we wcześniejszych etapach pracy i nie jest tutaj szczegółowo opisywane.

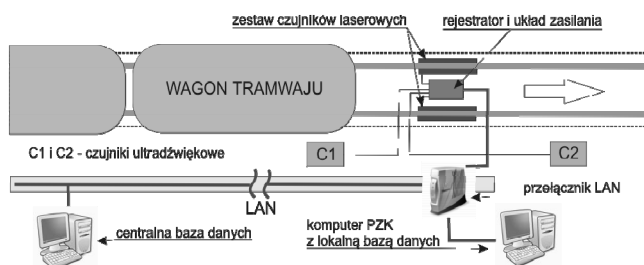
Rys. 2 przedstawia kolejne występujące po sobie wyniki pomiaru odległości rejestrowane przez system dla pojedynczego koła, które uzyskiwane są z laserów w punkcie pomiarowym stanowiska. Z przebiegów tych wyznaczane są charakterystyczne punkty charakterystyk, na bazie których obliczane są wymagane parametry kół.



Rys. 2. Przykładowe odległości uzyskane z sygnałów laserów dla jednego koła podczas przejazdu tramwaju
Fig. 2. Examples of results obtained from the laser signals from one wheel when passing tram

3. Budowa systemu pomiarowego

Firma KOLTECH dla zajezdni tramwajowej w Wrocławiu opracowała system pomiarowy, umożliwiający pomiar geometrycznych parametrów kół, którego schemat pokazany jest na rys. 3. W torze przelotowym torowiska zostało zamontowane stanowisko pomiarowe z zestawem czujników laserowych. Rolę akwizycji i analizy danych pełniły karty pomiarowe oraz komputer ze specjalistycznym oprogramowaniem. Konieczne jednak było opracowanie pojedynczego urządzenia, o niewielkich gabarytach, kontrolującego cały proces pomiarowy, gotowego do pracy w trudnych warunkach i umożliwiającego realizację pomiarów w czasie rzeczywistym. Ze względu na konieczność szybkiego czasu wdrożenia nowego układu pomiarowego, który dodatkowo zapewniałby łatwość jego dalszej rozbudowy, do realizacji zadania wykorzystano wydajną i integralną platformę CompactRIO firmy National Instruments, w którym została zaimplementowana programowo cała funkcjonalność i sterowanie pracą systemu.



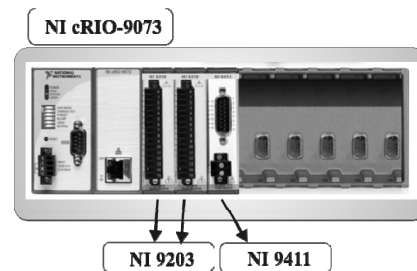
Rys. 3. Schemat poglądowy systemu do laserowego pomiaru parametrów kół w zajezdni tramwajowej we Wrocławiu
Fig. 3. Scheme of the system for laser measuring the wheel parameters of tram in Wrocław

Jest to urządzenie przeznaczone do sterowania i zbierania danych, opartym na systemie czasu rzeczywistego, przeznaczone dla zaawansowanych zastosowań. Możliwości sprzętowe układu CompactRIO i łatwość implementacji różnych zaawansowanych funkcji w graficznym środowisku LabVIEW, które zostały wykorzystane do opracowania rejestratora parametrów kół, są alternatywnym i nowoczesnym podejściem. Zastosowana platforma posiada wbudowany interfejs sieciowy oraz współpracuje z kartami pomiarowymi spełniającymi metrologiczne wymagania

dokładnościowe konstruowanego systemu. We wdrożonym systemie pomiarowym użyto następującej konfiguracji sprzętowej:

- NI cRIO-9073 – platforma bazująca na procesorze taktowanym zegarem 266 MHz i wykorzystująca system czasu rzeczywistego wraz z 8-słotową obudową z wbudowanym 2M-bramkowym konfigurowalnym układem FPGA, portem Ethernet i RS232,
- NI 9203 – dwa 8-kanalowe moduły prądowe wejść analogowych o zakresie pomiarowym ± 20 mA, 16-bitowej rozdzielczości i częstotliwości próbkowania 200 kS/s,
- NI 9411 – 6 kanałowy moduł wejść cyfrowych o zakresie napięć do ± 24 V.

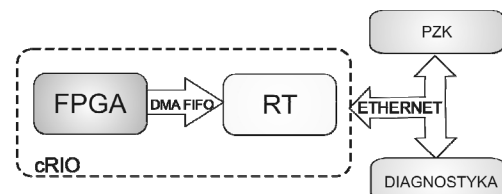
Do modułów wejść analogowych podłączone zostały czujniki laserowe oświetlające swoją wiązką lewe i prawe koło osi tramwaju. Do modułów wejść cyfrowych podłączone zostały natomiast detektory ultradźwiękowe. Komunikacja urządzenia z aplikacją na komputerze stacjonarnym PZK, zapisująca wyniki pomiarów do lokalnej bazy danych, realizowana jest za pomocą sieci Ethernet przy wykorzystaniu protokołu TCP/IP. Dane między aplikacjami wymieniane są przy wykorzystaniu specjalnie zdefiniowanych ramek, w których to przekazywane są informacje o statusie urządzenia, wyniki pomiaru, dane konfiguracyjne pomiaru czy też informacje o obecności pojazdu na stanowisku. Zaletami urządzenia oprócz małych gabarytów, jest także możliwość pracy w trudnych warunkach przemysłowych i temperaturach z zakresu od -40 do 70 °C, dlatego też z powodzeniem jest ono zamontowane w torze przelotowym torowiska.



Rys. 4. Zastosowana platforma CompactRIO jako system pomiarowy czasu rzeczywistego
Fig. 4. CompactRIO platform as real-time measurement system

4. Charakterystyka programowa systemu

Wykorzystując dostępne w modułach LabVIEW FPGA i LabVIEW Real-Time narzędzia i funkcje, zaimplementowano stabilne rozwiązania programowe mogące w maksymalny sposób wykorzystać zasoby sprzętowe. Oprogramowanie urządzenia całkowicie definiuje jego funkcjonalność i składa się z dwóch aplikacji współpracujących ze sobą (rys. 5): dla układu FPGA oraz dla systemu czasu rzeczywistego.



Rys. 5. Struktura programowa urządzenia sterowania i akwizycji danych
Fig. 5. The structure of control equipment, software and data acquisition

Program dla układu FPGA posiada dwa równoległe wątki. Jeden z nich kontroluje pracę czujników obecności pojazdu na stanowisku. Po otrzymaniu sygnału obecności tramwaju na stanowisku, drugi wątek jest gotowy do pomiaru i zaczyna monitorować sygnały z wybranych laserów, z częstotliwością próbkowania 4 kHz.

W momencie kiedy koła pojazdu poszczególnych osi najjeżdżają na promień lasera wyzwalającego pomiar, algorytm kontroluje ustawiony poziom wyzwolenia sygnału ograniczając akwizycję zbędnych danych do minimum. Po rozpoczęciu pomiaru dla osi, dane ze wszystkich czujników przekazywane są do kolejki FIFO, do momentu zjechania koła z obszaru pomiarowego. Taka sytuacja powtarza się dla kolejnych osi pojazdu. Zastosowanie szybkiego układu FPGA w urządzeniu pozwoliło całkowicie zrezygnować ze stosowania dodatkowych czujników wyzwalających pomiar.

Część programowa czasu rzeczywistego podzielona została natomiast na 4 niezależne wątki. Każdy z nich wykonywany jest w osobnych pętlach programowych, które mają określony priorytet i zdeterminowany czas wykonania (rys. 6). Pierwszy wątek pobiera stan czujników ultradźwiękowych odczytany przez układ FPGA oraz dane zapisywane w kolejkach FIFO. Pętla ma najwyższy priorytet i realizowana jest w czasie poniżej 1ms. Drugi wątek to maszyna stanów kontrolująca pracę całego systemu. Analizuje sygnały odczytywane przez układ FPGA określając stan pracy systemu, a także miejsce, w którym znajduje się badany pojazd, zlicza zmierzone osie oraz oblicza wszystkie wymagane parametry lewego i prawego koła każdej osi. Pętla ta wykonywana jest co 10 ms. Kolejny wątek o niższym priorytecie służy do komunikacji z aplikacją na komputerze PZK. Wszystkie otrzymywane wyniki formowane są w zdefiniowaną ramkę i przesyłane za pomocą protokołu TCP/IP do komputera nadrzędnego. Komunikacja odbywa się dwukierunkowo. Pętla realizuje także odpowiadanie na pytania o status i stan pracy rejestratora. Ostatni wątek służy do opcjonalnego przesyłania równoległe podczas pracy systemu informacji diagnostycznych. Przy wykorzystaniu zmiennych współdzielonych oferowanych przez środowisko programowania LabVIEW, w prosty i szybki sposób można przesłać interesujące informacje do komputera z programem diagnostycznym. Są to m.in. stan detektorów ultradźwiękowych, wyniki analizy zmierzonych danych, plik konfiguracyjny, czy też nieprzetworzone dane odczytane bezpośrednio z czujników laserowych. Na podstawie tych danych można odtworzyć zarejestrowane sygnały, mieć podgląd otrzymywanych przebiegów, porównywać dokładność pomiaru z wynikami otrzymanymi po przetworzeniu innymi metodami. Komputer z taką aplikacją może być niezależnie podłączony do sieci i do rejestratora, dzięki czemu w łatwy sposób można także przeprowadzić kalibrację stanowiska nie ingerując w aplikację współpracującą z bazą danych.



Rys. 6. Struktura programu procesora czasu rzeczywistego
Fig. 6. Program structure of real-time processor

Na rys. 6 bloki struktury z danymi to zaprojektowana warstwa komunikacyjna dla każdego wątku. Dzięki zastosowaniu wewnętrznych mechanizmów jakie oferuje LabVIEW, takich jak kolejki, przerwanie czy przekazywanie danych przez RT FIFO, można było uzyskać pełną synchronizację między wątkami i determinizm wykonywania poszczególnych zadań oraz w pełni wykorzystać zasoby sprzętowe.

5. Zalety zastosowanego rozwiązania

Korzystając z bogatych funkcji do analizy i obróbki danych jakie oferuje środowisko programowe LabVIEW, opracowane zostały algorytmy dokładnie wyznaczające punkty z uzyskiwanych podczas pomiaru przebiegów odległości (rys. 2), które wykorzystywane są do obliczeń parametrów geometrycznych kół. Dzięki zastosowaniu programowych filtrów i operacji matematycznych udało się uzyskać dokładność rzędu dziesiątych części milimetra oraz dużą powtarzalność pomiaru, która w wystarczającym stopniu pozwala śledzić degradację profili kół osi. Precyzyjne i szybkie wyzwolenie pomiaru przez układ FPGA zapewnia rejestrację tylko w istotnym dla obliczeń obszarze pomiarowym. Dobór odpowiednich filtrów programowych pozwolił także wyeliminować wszelkie zakłócenia sygnałów laserowych pojawiające się podczas pomiaru pod wpływem czynników zewnętrznych takich jak, odbłyśki promieni lasera na powierzchni koła czy znaczące nierówności (zanieczyszczenia), a które miały wpływ na uzyskiwane wyniki. Dzięki zastosowaniu graficznego środowiska LabVIEW oraz opisanych funkcji pomiarowych, odpowiednio dobrana i zoptymalizowana struktura programowa oraz układ FPGA zapewniają bardzo dużą szybkość działania, dzięki czemu wyniki parametrów geometrycznych koła obliczane i wysyłane są do bazy danych niemalże natychmiast po przejechaniu osi. Sam pomiar może być przeprowadzany przy prędkościach pojazdu wynoszących około 10 km/h. W urządzeniu zostały także opracowane algorytmy pozwalające na kontrolę obecności pojazdu na stanowisku pomiarowym. Program kontroluje stan czujników ultradźwiękowych, jest w stanie wyeliminować wszelkiego rodzaju zaniki ich sygnałów pojawiające się między wagonami czy nierównościami jego konstrukcji. Jest w stanie rozpoznać kiedy badany tramwaj wjeżdża poprawnie w obszar stanowiska pomiarowego co powoduje, iż urządzenie przechodzi w stan pomiarowy i czeka na wyzwolenie pomiaru odpowiednim poziomem sygnału z czujników laserowych. Analizując stan czujników obecności pojazdu urządzenie może rozpoznać także, czy badany pojazd cofa się, kiedy zjeżdża ze stanowiska czy wjeżdża na stanowisko z niedozwolonej strony. Wszystko odbywa się w pełni automatycznie bez ingerencji operatora.

6. Podsumowanie

Implementacja nowoczesnego rozwiązania w systemie laserowego pomiaru kół, została wykonana przy wykorzystaniu platformy NI CompactRIO. Ingeruje ona cały system w jednej małej i wytrzymałej obudowie. Dzięki zastosowaniu graficznego środowiska programowego LabVIEW i dostępnych funkcji udało się wykonać w pełni funkcjonalne urządzenie sprawdzające się w tego typu pomiarach w krótkim czasie. Użycie układu FPGA oraz systemu czasu rzeczywistego zapewnia zapas częstotliwości próbkowania i szybkości rejestracji co pozwala na realizację szybkich obliczeń, podnosząc jakość, dokładność i niezawodność całego systemu. Zastosowana struktura programowa umożliwia łatwą rozbudowę przy wykorzystaniu tych samych zasobów.

7. Literatura

- [1] Gancarczyk A. Iwiński B.: Rejestrator parametrów kół pojazdów szynowych, Mat. Konf. „Systemy pomiarowe w badaniach naukowych i w przemyśle”, Łagów, 2010.
- [2] Platforma CompactRIO: <http://www.ni.com/compactrio>.
- [3] Przedsiębiorstwo Projektowo-Wdrożeniowe KOLTECH: <http://www.koltech.com.pl>.
- [4] Veritech: <http://www.veritech.pl>.