

STEROWANIE UKŁADEM ZASILANIA I POMIAR WŁAŚCIWOŚCI UKŁADU WRZECIONOWEGO Z ŁOŻYSKAMI SKOŚNYMI PRZY UŻYCIU ŚRODOWISKA LABVIEW

CONTROL SUPPLY SYSTEM AND MEASUREMENT PROPERTIES OF SPINDLE WITH ANGULAR CONTACT BEARINGS USING LABVIEW

Paweł Turek

Waclaw Skoczyński

Politechnika Wrocławska

Wydział Mechaniczny

Katedra Obrabiarek i Technologii Mechanicznych

ul. Łukasiewicza 5

50-371 Wrocław

e-mail: pawel.turek@pwr.edu.pl

Abstract: The paper presents a research position with the spindle-speed. It is used in the PhD thesis, the aim of which is to develop an active bearing case. This case is intended to provide the opportunity to actively change the preload of the spindle of ball angular contact bearings. The article describes the construction of the test and the parameters of both spindle and measurement systems. It shows the hardware configuration used for the initial measurements. These measurements will allow to determine the operating parameters of the spindle so that setting a real relationship changes the preload of the spindle for changing working conditions. For data acquisition and control software environment LabVIEW was used, its general philosophy is presented in the work. The authors also present the application created in this program which allows for simultaneous control of spindle speed and monitoring of selected parameters of its work.

Keywords: preload, angular bearings, machine tool, LabVIEW environment, monitoring of spindle, speed control.

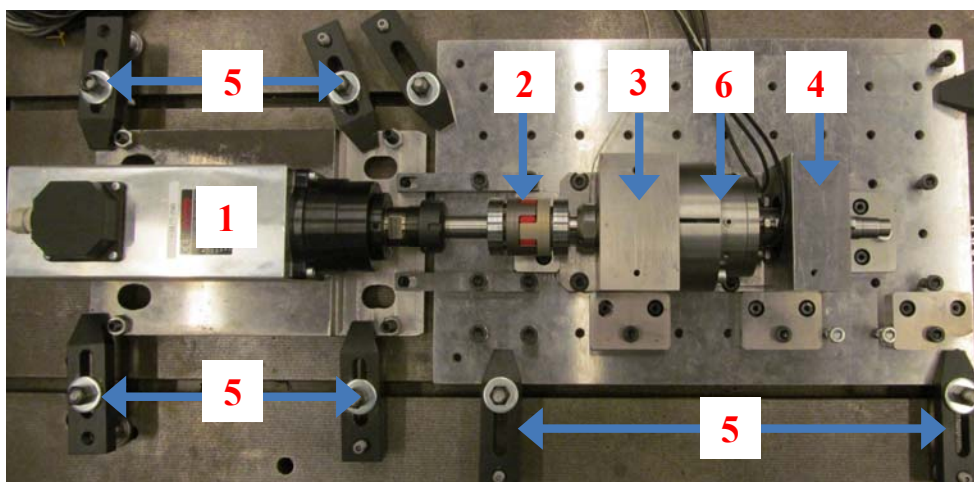
Wprowadzenie

Ogólnodostępna literatura przedstawia wiele opisów dotyczących rozwiązań konstrukcyjnych aktywnego sterowania napięciem wstępnym kulkowych łożysk skośnych. Rozwiązania te są stosowane powszechnie w przemyśle obrabiarkowym, jednak większość z nich to konstrukcje prototypowe [6] działające tylko i wyłącznie w określonych warunkach. Wyróżnia się wąski zakres prędkości obrotowych wrzeciona, niewielką zmianę wartości siły napinającej lub rozwiązania, gdzie zmiana napięcia występuje w trakcie pracy wrzeciona, ale nie jest ona kontrolowana bądź korygowana on-line. Chcąc prawidłowo zaprojektować aktywny układ napinający łożyska skośne trzeba prawidłowo opisać warunki jego pracy oraz poznać charakterystykę elementów aktywnych wykorzystywanych do sterowania i zmiany napięcia wstępnego. W tym celu w opisywanym rozwiązaniu badane wrzeciono wyposażono w odpowiednie czujniki. Do akwizycji danych opracowano aplikację w środowisku LabVIEW, która jednocześnie steruje prędkością obrotową wrzeciona.

Stanowisko badawcze

Do przeprowadzenia badań zaprojektowane i wykonane zostało stanowisko pozwalające określić wpływ zmiany

napięcia wstępnego łożysk skośnych na pracę układu wrzecionowego. Badania przeprowadzono dla wrzeciona, w którym zastosowano łożyska skośne firmy FAG o kącie pracy 15° i zestawione w układzie „O” [2, 7]. Na rys. 1 przedstawiono badane wrzeciono wraz z układem napędowym. Korpus wrzeciona został wykonany w postaci dwóch oddzielnych podpór osadzonych na płycie podstawy – podpora przednia (4), podpora tylna (3). Każda podpora pozycjonowana jest za pomocą kołków ustalających o dokładności poniżej 0,01 mm, w kierunku osiowym i promieniowym. Do monitorowania temperatury łożysk każda podpora została wyposażona w termoparę. Jej umieszczenie pozwala na pomiar temperatury na zewnętrznej bieżni łożyska w trakcie jego pracy. Do napędu wrzeciona zastosowano silnik wysokoobrotowy (1) indukcyjny trójfazowy firmy TEKNO-MOTR z przekształtnikiem częstotliwości firmy Siemens. Sterowanie prędkością obrotową odbywa się poprzez kartę pomiarową firmy National Instruments USB 6211. Napęd z silnika przenosi na badane wrzeciono bezluzowe sprzęgło kłowe firmy Rotex (2) przeznaczone do pracy w podwyższonych prędkościach obrotowych poprzez zastosowanie tulei zaciskowej (brak połączeń wpustowych). Ze względu na swoją masę układ wrzecionowy został umieszczony na metalowym stole z rowkami teowymi, w których osadzono łapy mocujące (5) płytę podstawy badanego wrzeciona i silnika napędowego.



Rys. 1. Badany układ wrzecionowy, 1 – silnik; 2 – sprężęło; 3 – podpora tylna; 4 – podpora przednia; 5 – łapy mocujące; 6 – układ napięcia wstępnego.

Dla zapewnienia bezpieczeństwa pracy falownik zamontowano w szafie sterowniczej przymocowanej do bocznej części stołu aluminiowego wykonanego z profili. W szafie zamontowano główny włącznik zasilania napędu oraz włącznik bezpieczeństwa (tzw. grzybek) oraz prosty panel sterowania falownikiem (ON/OFF, lewo/prawo). Na stole umieszczono komputer wraz z monitorami pozwalający na sterowanie wrzecionem i rejestrację pomiarów.

Podczas wstępnych badań, w których określano zachowanie się łożysk, do zadawania napięcia wstępnego łożysk wykorzystano trzy aktuatory rozmieszczone symetrycznie względem osi wrzeciona. Każdy aktuator składa się z obudowy, tłoczka i elementu sprężystego, który umożliwia zmianę napięcia wstępnego łożysk w zależności od stopnia ściśnięcia sprężyny. Ściskanie tej sprężyny wykonywane jest za pomocą śruby o znanym skoku gwintu. Podczas badań przewidziano możliwość zastosowania różnych rodzajów sprężyn tak, aby przebadać zachowanie się układu łożysk w szerszym zakresie stosowanych napięć. Siła z jaką naciskają aktuatory na badane łożysko wprowadza napięcie wstępne łożyska poprzez przemieszczenie jego bieżni zewnętrznej i zależniona jest od zmiany długości aktuatora. Zależność siły, jaką wywiera aktuator, od zmiany długości sprężyny wyznaczono na oddzielnym stanowisku z wykorzystaniem siłomierza firmy HBM U2A o zakresie pomiarowym do 1 tony. Do pomiaru wartości przemieszczenia tej bieżni zastosowano trzy dotykowe czujniki indukcyjne, podobnie jak aktuatory rozmieszczone symetrycznie (co 120 stopni) względem osi wrzeciona. Zakres pomiarowy czujników wynosi 4 mm, a dokładność pomiarowa 0,4 μm .

Czym jest LabVIEW?

W roku 1986 wychodząc naprzeciw oczekiwaniom rynku firma National Instruments stworzyła innowacyjny jak na owe czasy język programowania wysokiego poziomu pod nazwą LabVIEW. Jego zastosowanie

pozawala na łatwe tworzenie tzw. wirtualnych instrumentów pomiarowych, a mówiąc prościej programów komputerowych, które symulują wykonywanie określonego rodzaju pomiarów dla różnych eksperymentów. Taki rodzaj programowania ma obecnie bardzo powszechne zastosowanie w budowie stanowisk laboratoryjnych lub przy prowadzeniu wstępnych badań eksperymentalnych. Tego rodzaju aplikacje mogą pracować w pełni samodzielnie lub też być wykorzystywane do wspomagania innych programów. Jest to możliwe ponieważ środowisko LabVIEW sprawdza nie tylko w pomiarach, ale również w sterowaniu i wykonywaniu obliczeń [4]. Dzięki temu możliwe jest wykorzystywanie posiadanej aparatury pomiarowej w szerszym obszarze zastosowań. Trudno jednoznacznie wymienić i zdefiniować wszystkie możliwości LabVIEW, ponieważ jak każde środowisko programowe także i ono ulega bardzo szybkiemu rozwojowi i modyfikacjom zwiększającymi jego funkcjonalność. Występuje również silna integracja producentów sprzętu np. pomiarowego, którzy oferują możliwość obsługi swoich urządzeń z poziomu LabVIEW co pozwala łączyć różne urządzenia w jednym środowisku programowym [1].

W LabVIEW tworzenie aplikacji odbywa się poprzez interfejs graficzny. Ta cecha pozwala uniknąć pisania specjalnego kodu, którego zrozumienie i prawidłowe stworzenie jest często dużo bardziej skomplikowane. Wykorzystanie do programowania odpowiednich bloków pozwala na łatwiejsze zrozumienie samej istoty działania programu oraz pisanie nawet skomplikowanych aplikacji przez osoby nie posiadające wysokich umiejętności programowania. Rozbudowana opcja pomocy daje możliwość samo nauki tego środowiska.

Mimo zmian przeprowadzanych przez twórców LabVIEW istota środowiska pozostaje w dalszym ciągu niezmienną. Każdy projekt jest tzw. wirtualnym instrumentem (rozszerzenie pliku .vi virtual instrument). Ilość wirtualnych instrumentów w każdym projekcie

może być różna począwszy od jednego w bardzo prostych przypadkach po setki, a nawet tysiące jeśli mówimy o projektach przemysłowych. Taka struktura pozwala na projektowanie równoległe przez różnych programistów, gdzie każdy z nich projektuje w oparciu o dwa podstawowe okna:

– Front Panel (tzw. panel czołowy, pulpit) – jest to okno na podstawie którego korzystamy z programu. Umieszczane są tutaj wszystkie elementy wejściowe (np. pokrętła, suwaki, przyciski, okna do wprowadzania wartości zadanych lub tekstu) i wyjściowe (kontrolki, wykresy, wskaźniki), które składają się na interfejs użytkownika programu;

– Block Diagram (tzw. schemat blokowy) – jest to okno z graficznym kodem programu zbudowane z różnych funkcji matematycznych, ExpressVI (w pełni opracowanych podprogramów z własnym interfejsem pozwalającym na łatwą konfigurację dla danego rozwiązania) oraz SubVI (czyli podprogramów, które tworzy sam programista). Poza tym tworząc schemat blokowy można korzystać z rozmaitych struktur (jak np.

pętle lub funkcje warunkowe). Wszystkie te elementy łączone są ze sobą za pomocą tzw. przewodów o różnych kolorach w zależności od rodzaju połączenia (można wykonać tylko połączenia pasujące do siebie czyli tego samego typu np. numeryczne lub binarne).

Parametry układu pomiarowego i sterowania prędkości

Prawidłowe wykonanie pomiarów jest niezbędne do określenia charakterystyki układu wrzecionowego [3]. Na stanowisku badawczym mierzone są dwa parametry względne przemieszczenie bieźni łożyskowych (czujniki dotykowe) oraz temperatura oddzielnie dla każdego łożyska (termopary typu J) oraz zadawana konkretna prędkość obrotowa. Sygnały z tych czujników rejestrowane są za pomocą ośmiokanałowego uniwersalnego wzmacniacza pomiarowego QuantumX MX840 firmy HBM. W tabeli 1 przedstawiono parametry urządzenia.

Tab. 1. Parametry wzmacniacza pomiarowego [5].

HBM QuantumX MX840	Parametry
Ilość kanałów	8 – 24 bity A/D
Napięcie zasilania wzmacniacza	10...30 V DC (~10W)
Napięcie zasilania czujników	5 – 24 V DC (~0,7W)
Częstotliwość próbkowania	do 19,2 kHz
Podłączenie	Ethernet TCP/IP
Temperatura otoczenia	-20...60°C
Maksymalna długość kabla podłączenia	100 m
Typy obsługiwanych sensorów	Tensometryczne i piezorezystancyjne (pełny mostek), indukcyjne (pełny/pół mostek), LVDT, napięciowe, PT100 / PT1000, termopary (K, J, T, E, N, R, S, B), potencjometryczne

Firma HBM dla swoich urządzeń dedykuje własne oprogramowanie o nazwie Catman. Pozwala ono w łatwy sposób gromadzić dane i ustawiać zadane parametry pomiarów. Dzięki niemu można także włączać i wyłączać poszczególne kanały wzmacniacza pomiarowego oraz opracowywać wykresy. Wersję Catman Easy cechuje:

- maksymalna szybkość akwizycja danych 12 MS/s lub 100 Mb/s,
- integracja danych z GPS,
- przechowywanie danych w różnych formatach,
- możliwość korzystania z podstawowych operacji matematycznych,

- graficzna wizualizacja danych w czasie, częstotliwości, zakresie, pozycji,
- możliwość eksportowania danych.

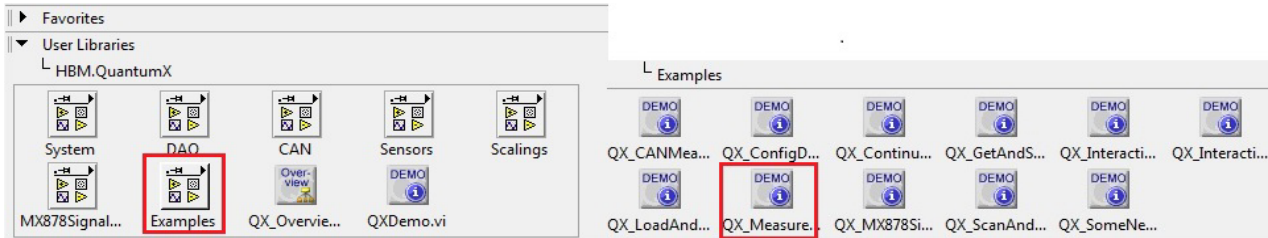
Firma HBM oferuje również oprogramowanie pozwalające zintegrować wzmacniacz pomiarowy ze środowiskiem LabVIEW. Do tego celu konieczne jest zainstalowanie odpowiedniej biblioteki, która daje możliwość budowania własnych aplikacji. Tworząc taką aplikację w oparciu o urządzenia pomiarowe firmy HBM musimy przestrzegać odpowiednio określonej filozofii postępowania. Ogólnie przedstawia ją schemat na rys. 2.



Rys. 2. Idea tworzenia aplikacji dla urządzeń HBM w środowisku LabVIEW.

Kolejne bloki przedstawiają: 1 – inicjacja, 2 – skanowanie (rozpoznawanie urządzenia), 3 – połączenie, 4 – odczytywanie sygnałów, 5 – wybór sygnałów, 6 – pomiar i zapisywanie zmierzonych wartości, 7 – zakończenie pracy. Na rys. 3 przedstawiono bibliotekę HBM w środowisku LabVIEW. Z całego jej obszaru do budowy

aplikacji opisanej w dalszej części artykułu w niniejszym wykorzystano elementy pozwalające na połączenie się z urządzeniem QuantumX poprzez złącze USB i zapisywanie zmierzonych sygnałów. W tym celu skorzystano z przykładowych programów, które dostarcza biblioteka (zaznaczono je na rys. 3).



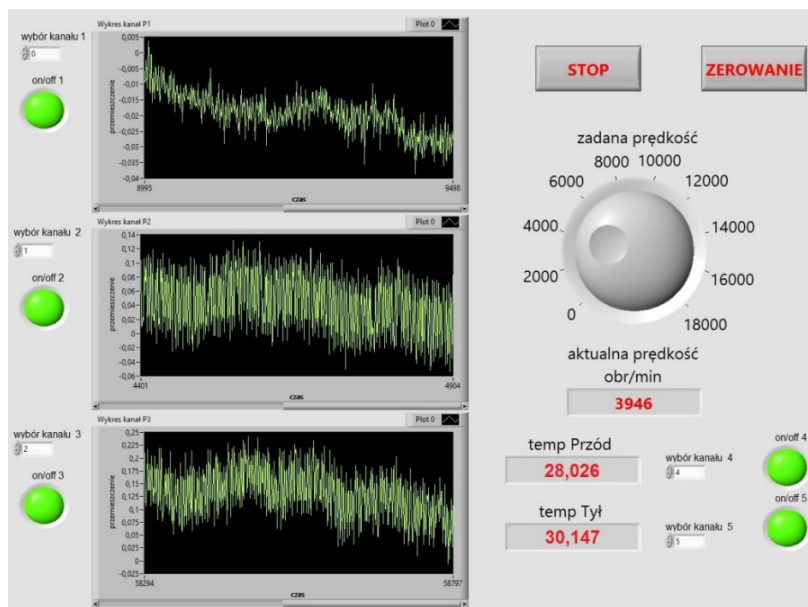
Rys. 3. Funkcje wykorzystane do budowy aplikacji pomiarowej.

Sterowanie prędkością silnika wysokoobrotowego odbywa się poprzez falownik, w którym wykorzystano „drugie makro” połączeniowe czyli sterowanie falownikiem poprzez wejścia analogowe i zmianę częstotliwości proporcjonalną do zadawanego napięcia wejściowego w zakresie 0–10V. Wartość zadawanego napięcia będzie generowana z karty pomiarowej National Instruments USB 6211. Jej obsługa z poziomu środowiska LabVIEW wymaga użycia bloku programowego DAQ Assistant. Określono w nim wybrany rodzaj podłączenia – General Signals (w naszym przypadku będą to wyjścia napięciowe), zakres napięcia 0–10 V oraz określamy fizycznie wykorzystywane piny (dla opisanego rozwiązania są to AO0 i AOGND).

Programowo ograniczono prędkość obrotową w zakresie 100–18000 obr/min.

Aplikacja w programie LabVIEW

Jak już wspomniano, LabVIEW pozwala na zbudowanie przejrzystego panelu sterowania, który łatwo można połączyć z funkcjami pomiarowymi. Założeniem projektowym w opisywanym przypadku było stworzenie sterowania dla silnika wysokoobrotowego oraz możliwość pomiaru parametrów wrzeciona. Zadanie to zostało rozwiązane w następujący sposób (rys. 4).



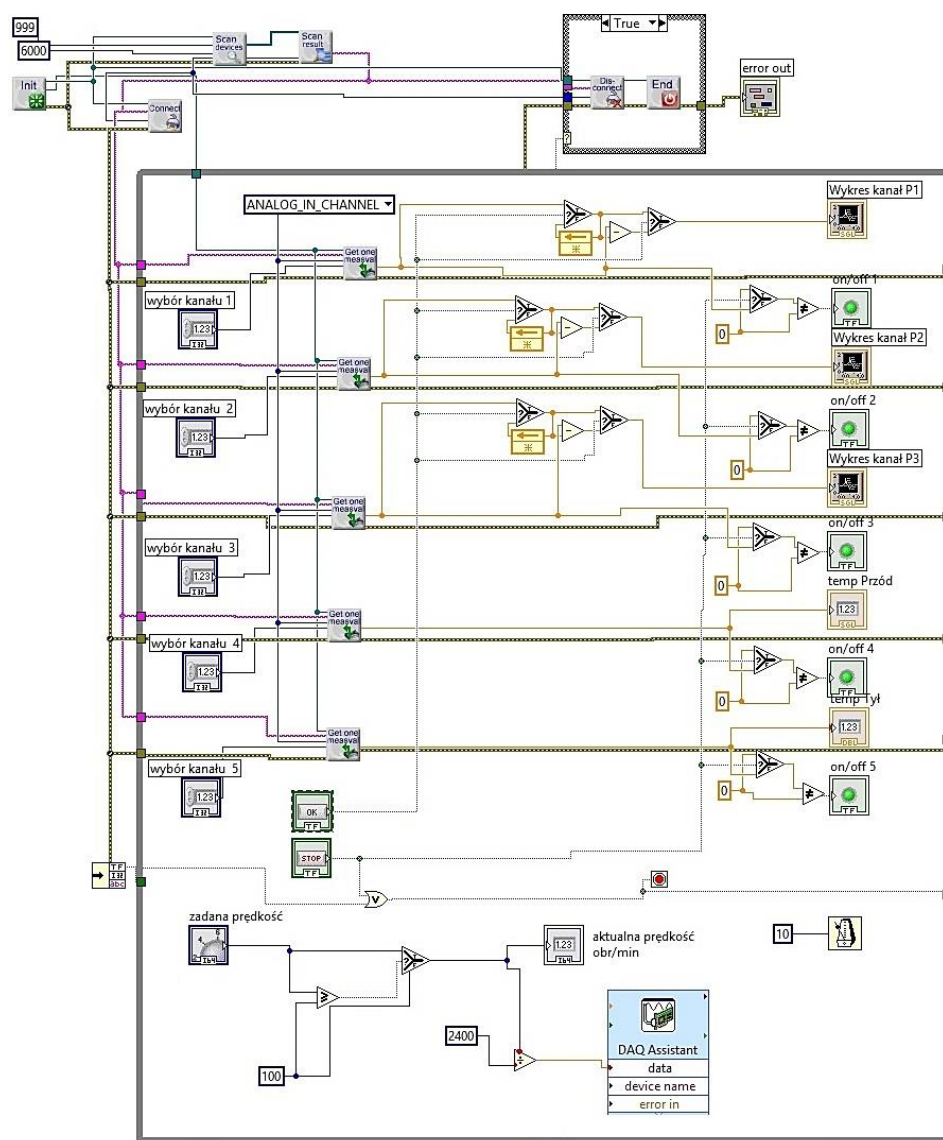
Rys. 4. Aplikacja do pomiarów właściwości wrzeciona i sterowania jego prędkością – Front Panel LabVIEW.

Pomiar przemieszczenia zewnętrznej bieżni łożyskowej jest monitorowany oddzielnie dla każdego z trzech czujników. Dla ułatwienia interpretacji wyników

zaprojektowano przycisk zerowania, który sprowadza wszystkie wartości przemieszczenia do wspólnego zera. Dodatkowo na Front Panelu możemy odczytywać

temperaturę zewnętrznych bieżni łożyskowych dla przedniej i tylnej podpory łożyskowej. Ponieważ wykorzystywany wzmacniacz pomiarowy posiada osiem kanałów o takich samych parametrach w aplikacji zapewniono możliwość wyboru odpowiedniego kanału pod który fizycznie podpięto dany czujnik. Domyślnie ustawiono kanały od 1 do 3 - wejścia czujników przemieszczeń, kanały 4 i 5 - wejścia czujników temperatury. Każdy kanał wyposażono dodatkowo w kontrolkę, która świeci się na zielono, gdy jest podpięty czujnik.

Front Panel zapewnia także możliwość sterowania wartością prędkości obrotowej, którą programowo ograniczono do zakresu 100–18000 obr/min. Zmiana prędkości wykonywana jest poprzez odpowiednie pokrętko, pod którym ustawiono wyświetlacz aktualnej wartości prędkości. Prędkość ta nie jest mierzona, a jedynie obliczana na podstawie zadawanej wartości częstotliwości w falowniku. Na rys. 5 przedstawiono schemat blokowy opisywanej aplikacji.



Rys. 5. Aplikacja do pomiarów właściwości wrzeciona i sterowania jego prędkością – Block Diagram LabVIEW.

Podsumowanie

Opisane w artykule stanowisko badawcze prezentuje zastosowanie środowiska LabVIEW do stworzenia systemu pozwalającego monitorować i sterować wrzecionem szybkoobrotowym. Pomiary te będzie można wykorzystać do prowadzenia dalszych rozważań nad zastosowaniem aktywnego napinania łożyska skośnego. Będzie można określić np. na jaką maksymalną

odległość przesuwa się zewnętrzna bieżnia łożyskowa co pozwoli oszacować spadek sztywności dla całego układu wrzecionowego. Przedstawiona aplikacja sprawdza się w przypadku prowadzenia jednoznacznych odczytów i obrazowego, intuicyjnego sterowania. Równocześnie można ją w prosty sposób rozbudowywać o nowe funkcje np. pomiar rzeczywistej prędkości obrotowej wrzeciona czy np. drgań jakie powstają na stanowisku badawczym, które będą rozważane w dalszej części prac

prowadzonych przez autorów na przedstawionym stanowisku. Przedstawiona koncepcja bezpośredniego pomiaru przemieszczeń zewnętrznej bieżni łożyskowej umożliwia łatwą wizualizację zachowania się jej wraz ze wzrostem prędkości obrotowej oraz równocześnie rosnącej temperatury pracy układu wrzecionowego. Zastosowanie do tego celu czujników dotykowych pozwala uniknąć różnego rodzaju błędów jakie mogą występować przy pomiarach bezdotykowych (np. wraz-

liwość na strukturę materiału mierzonego przedmiotu). To opracowanie pokazuje jednocześnie jak łatwo można łączyć ze sobą różne urządzenia w jednym programie, co znacznie ułatwia ich komunikację. Warto również wspomnieć, że na podstawie przedstawionego programu można łatwo utworzyć inne, podobne rozwiązania, które będzie można wykorzystać dla odmiennych konstrukcji gdzie jednocześnie wykorzystuje się sterowanie i monitorowanie parametrów pracy.

Literatura

1. Hua, Z., Application of LabVIEW in the design of data acquisition and signal processing system of mechanical vibration, International Conference on Mechatronic Science Electric Engineering and Computer Jilin China, 2011, pp. 2551-2554.
2. Krzemiński-Freda, H., Łożyska toczne, PWN, Warszawa, 1985.
3. Modrzycki, W., Identyfikacja i kompensacja błędów obrabiarek, *Inżynieria Maszyn*, 2008, R. 13, z. 3/4, s. 91-100.
4. National Instruments, LabVIEW: User manual November Edition, 2003.
5. Operating Manual, Universal Amplifier QuantumX MX840A HBM, 2011.
6. Quintana, G., De Ciurana, J., Campa, F.J., Machine tools for high performance machining, Chapter 3 – Machine Tool Spindles. London: Lopez de Lacalle N. Lamikiz Mentxaka A. (Eds.) Springer-Verlag, 2009.
7. Waczyński, S., Łożyskowanie wałka z zastosowaniem skośnych łożysk tocznych oraz elementu sprężystego, *Problemy niekonwencjonalnych układów łożyskowych*, Zbiór Prac Konferencyjnych pod redakcją J. Burcana, Łódź, 1995, s. 71-74.