

DOI: 10.5604/01.3001.0010.4847

KONCEPCJA SYSTEMU STEROWANIA HYBRYDOWĄ WYRZUTNIĄ ELEKTROMAGNETYCZNĄ PRZY ZASTOSOWANIU STEROWNIKA CZASU RZECZYWISTEGO

Tomasz Makowski

Politechnika Śląska, Katedra Mechatroniki

Streszczenie. Artykuł przedstawia koncepcję zintegrowanego systemu sterowania hybrydową wyrzutnią elektromagnetyczną. Głównym elementem koncepcji systemu sterowania będzie sterownik czasu rzeczywistego CompactRIO-9022, który pełnić ma również funkcję kontrolno – pomiarową. System będzie połączony do sieci LAN umożliwiając tym samym zdalne sterowanie pracą wyrzutni. W publikacji opisano również sterownik CompactRIO-9022 wraz z kartami rozszerzeń oraz program LabView.

Słowa kluczowe: hybrydowa wyrzutnia elektromagnetyczna, sterownik czasu rzeczywistego, koncepcja układu pomiarowo-sterowniczego, CompactRIO-9022

CONCEPT OF CONTROL SYSTEM FOR HYBRID ELECTROMAGNETIC LAUNCHER WITH USE OF REAL TIME CONTROLLER

Abstract. The article describes concept of an integrated control system for the hybrid electromagnetic launcher. The main issue of the concept control system is to use a real-time controller (CompactRIO-9022) playing additionally role of a measurement system. The control system will be connected to LAN network, which allows to remote control of launcher. In article used controller is described specifically also with available extension and LabView software.

Keywords: Electromagnetic launching, real-time controller, the concept of control-measuring system, CompactRIO-9022

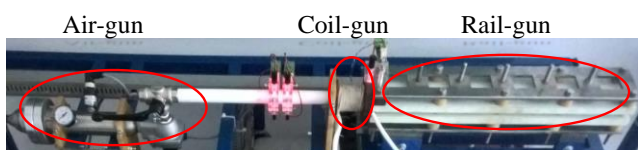
1. Hybrydowa wyrzutnia elektromagnetyczna

Prace rozwojowe nad wyrzutnią elektromagnetyczną zostały rozpoczęte już na początku XX wieku [4]. Obecnie coraz więcej ośrodków na całym świecie prowadzi badania nad tego typu urządzeniami ze względu na szerokie możliwości zastosowania w wielu różnych dziedzinach głównie w dziedzinie militarnej [4, 5]. W Polsce prace nad budową funkcjonalnej wyrzutni elektromagnetycznej rozpoczęły się w Ośrodku OBRUM sp. z o.o. oraz Politechnice Śląskiej – Katedra Mechatroniki Wydziału Elektrycznego. Dziś coraz więcej uczelni i firm prowadzi własne badania związane z problematyką wyrzutni elektromagnetycznych [3, 5].

Prototyp wyrzutni hybrydowej o własnej oryginalnej konstrukcji, składający się z trzech modułów napędowych (rys. 2): modułu pneumatycznego Air-gun, elektromagnetycznego cewkowego modułu napędowego Coil-gun i elektromagnetycznego szynowego modułu napędowego Rail-gun, został zaprojektowany i wykonany w Katedrze Mechatroniki na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej (rys. 1) [2].



Rys. 1. Widok ogólny hybrydowej wyrzutni elektromagnetycznej ze wspomaganie pneumatycznym



Rys. 2. Widok modułów napędowych hybrydowej wyrzutni elektromagnetycznej

2. Sterownik czasu rzeczywistego CompactRIO-9022

Sterownik czasu rzeczywistego CompactRIO-9022 (rys. 3) zawiera szereg interfejsów takich jak dwa porty Ethernet z wbudowanym serwerem www, port USB 2.0, port RS232. Posiada również osiem gniazd pod różne karty rozszerzeń. Sterownik jest samodzielną jednostką (brak konieczności współpracy ciągłej z komputerem), z którym można się komunikować i dodatkowo przetwarzać dane poza sterownikiem. Zawiera procesor o taktowaniu 533 MHz, 2 GB pamięci i 256 MB pamięci DDR2. Może być zasilany napięciem z przedziału 9÷35 VDC. Urządzenie cechuje się podwyższoną odpornością przy niewielkich zewnętrznych wymiarach. Zazwyczaj znajduje zastosowanie, jako jednostka kontrolująca procesy przemysłowe [6].



Rys. 3. Widok ogólny sterownika czasu rzeczywistego CompactRio-9022 [7]

Sterownik CompactRIO-9022 jest produktem firmy National Instruments, stąd też preferowanym wyborem środowiska programistycznego jest program LabVIEW dostarczany przez tą samą firmę. Podstawowym językiem programowania jest język graficzny G, istnieje jednak możliwość pisania programów przy użyciu języka C++ lub JAVA.

3. Sterownik CompactRIO-9022 wraz z kartami rozszerzeń istniejący w hybrydowej wyrzutni

Zaprojektowane oraz wykonane w Katedrze Mechatroniki stanowisko badawcze z hybrydową wyrzutnią elektromagnetyczną jest wyposażone w omawiany sterownik czasu rzeczywistego (rys. 4). Istnieje więc możliwość, bez ponoszenia znacznych kosztów, przy wykorzystaniu wybranych kart rozszerzeń,

zrealizowania układu opartego o koncepcję zintegrowanego systemu sterowania. Dostępny sterownik CompactRIO-9022 jest wyposażony w następujące karty rozszerzeń [6]:

- NI 9423 (2 szt.) – 8 kanałowy moduł wejść z czasem reakcji 1 μ s. Poziomy napięć są zgodne z sygnałami 24 V_{DC}. Dodatkowo każdy kanał posiada diodę sygnalizującą o stanie logicznym;
- NI 9474 – 8 kanałowy moduł wyjść z czasem reakcji 1 ms. Posiada diody wskazujące stan logiczny kanałów, jest kompatybilny z sygnałami od 5 V do 30 V;
- NI 9265 – 4 kanałowy moduł wyjść analogowych (0–20 mA). Działający z częstotliwością próbkowania 100 kS/s na każdy kanał i 16-bitową rozdzielczością. Moduł posiada wbudowaną detekcję otwartej pętli i generuje przerwanie w oprogramowaniu, a także zeruje wyjście w celu zapewnienia bezpieczeństwa;
- NI 9215 (2 szt.) – 4 kanałowy moduł wejść analogowych działający do 10 V. Pracujący z częstotliwością próbkowania 100 kS/s na każdy kanał i 16-bitową rozdzielczością. Posiada moduł analogowo – cyfrowy oparty na SAR i ADC;
- NI 9205 – 32 kanałowy moduł wejść analogowych lub przy trybie różnicowym 16 wejść. Maksymalna częstotliwość próbkowania wynosi 250 kS/s przy rozdzielczości 16-bitów. Każdy kanał posiada programowalne zakresy wejściowe ± 200 mV, ± 1 V, ± 5 V i ± 10 V;
- NI 9403 – 32 kanałowy dwukierunkowy moduł wejść i wyjść funkcjonujący w logice TTL (5 V) z czasem reakcji 7 μ s.

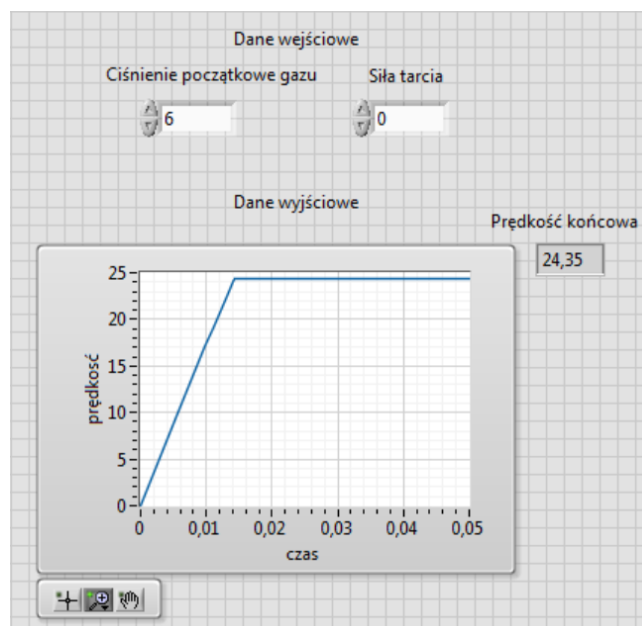
Wszystkie karty rozszerzeń posiadają również zabezpieczenia przed przepięciami, przeciążeniami, posiadają izolacje pomiędzy kanałami.



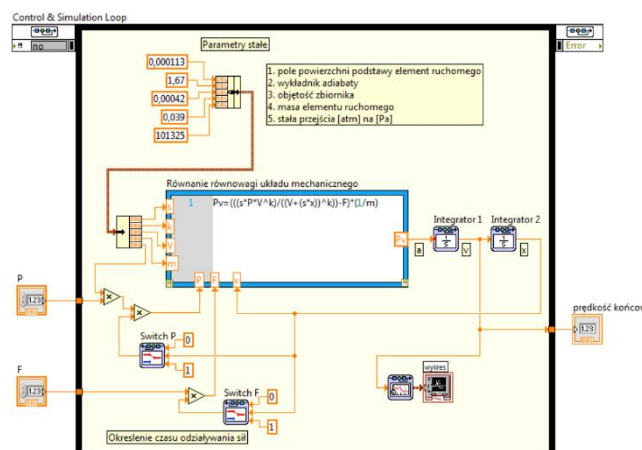
Rys. 4. Widok dostępnego sterownika czasu rzeczywistego CompactRio-9022

4. Oprogramowanie LabView i język G

Firma National Instruments jest producentem środowiska LabView, które przeznaczone jest do wspomaganie tworzenia programów. W przeciwieństwie do innych podobnych środowisk (np. Simulink), gdzie kod pisze się w sposób sekwencyjny, w LabView od początku zaprezentowano odmienne podejście do tworzenia programu. Językiem programistycznym jest graficzny język G stanowiący rysunek przepływu informacji. Często program LabView jest nazywany wirtualnym przyrządem (virtual instrument), ponieważ aplikacje pełnią funkcję rzeczywistych przyrządów pomiarowych (takich jak multimetr, oscyloskop itd.). Korzystając z gotowych bibliotek LabView można przetwarzać zgromadzone dane za pomocą różnorodnych procedur np. cyfrowej analizy danych, filtracji cyfrowej, statystyki i analizy numerycznej, itd. Standardowo projekt tworzony jest w dwóch oknach Front Panel (panelu frontowy) i Block Diagram (diagramie blokowym). Front Panel (rys. 5) to graficzny interfejs dedykowany dla użytkownika aplikacji. Jest to interaktywny panel pozwalający na sterowanie oprogramowaniem i prezentacją wyników. Blok Diagram (rys. 6) przeznaczony jest dla programisty i nie jest widoczny dla użytkownika programu [1].



Rys. 5. Przykładowy widok panelu użytkownika – Front Panel



Rys. 6. Przykładowy fragment kodu napisanego w języku G – Block Diagram

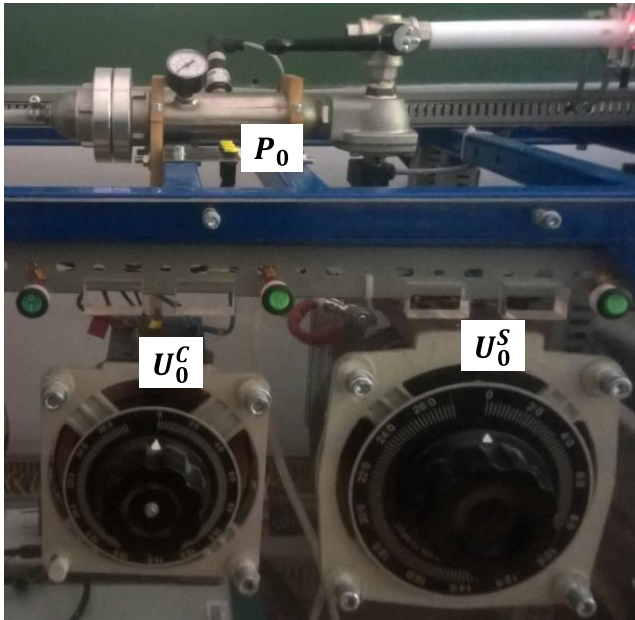
5. Obecny układ pomiarowo – sterowniczy hybrydowej wyrzutni

Obecna wersja prototypu hybrydowej wyrzutni elektromagnetycznej wymaga przebywania użytkownika podczas procesu wystrzeliwania elementu ruchomego i ustawiania parametrów pracy (rys. 7):

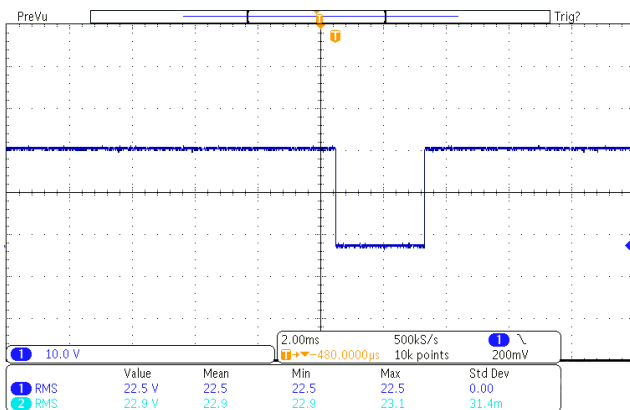
- wartości początkowej ciśnienia gazu w zbiorniku P_0 ,
- wartości początkowej napięcia na baterii kondensatorów zasilających elektromagnetyczny cewkowy moduł napędowy U_0^C ,
- wartości początkowej napięcia na baterii kondensatorów zasilających elektromagnetyczny szynowy moduł napędowy U_0^S .

Ze względu na znaczące wartości napięć początkowych na baterii kondensatorów (do 2 kV) oraz prądów rozładowania osiągających wartości do 105 kA przebywanie osób w tym samym pomieszczeniu co urządzenie może być niebezpieczne.

Obecna wersja dokonywania pomiarów parametrów pracy wymaga dodatkowych zewnętrznych urządzeń np. oscyloskopu. Przykładowo w celu określenia prędkości elementu ruchomego pomiar dokonywany jest metodą pośrednią. Za pomocą oscyloskopu rejestruje się czas przesłonięcia wiązki (rys. 8) z barier optycznych przez przemieszczający się element ruchomy. Następnie znając wymiary zewnętrzne pocisku i czas przelotu odczytany z oscyloskopu, można obliczyć chwilową prędkość pocisku w danym punkcie pomiarowym.



Rys. 7. Widok miejsca zadawania parametrów początkowych hybrydowej wyrzutni elektromagnetycznej



Rys. 8. Przykładowy przebieg zarejestrowany oscyloskopem z barier optycznych

Część pomiarowa hybrydowej wyrzutni elektromagnetycznej (rys. 9) umożliwia pomiar:

- początkowego ciśnienia gazu w zbiorniku P_0 ,
- napięcia początkowego na baterii kondensatorów elektromagnetycznego cewkowego modułu napędowego U_0^C ,
- napięcia początkowego na baterii kondensatorów elektromagnetycznego szynowego modułu napędowego U_0^S ,
- przebiegu prądu rozładowania baterii kondensatorów elektromagnetycznego cewkowego modułu napędowego i^C ,
- przebiegu prądu rozładowania kondensatorów elektromagnetycznego szynowego modułu napędowego i^S ,
- prędkości końcowej elementu ruchomego dla modułu pneumatycznego v_k^P ,
- prędkości końcowej elementu ruchomego dla modułu cewkowego v_k^C ,
- prędkości końcowej elementu ruchomego dla modułu szynowego v_k^S ,

- energii kinetycznej elementu ruchomego E_k .

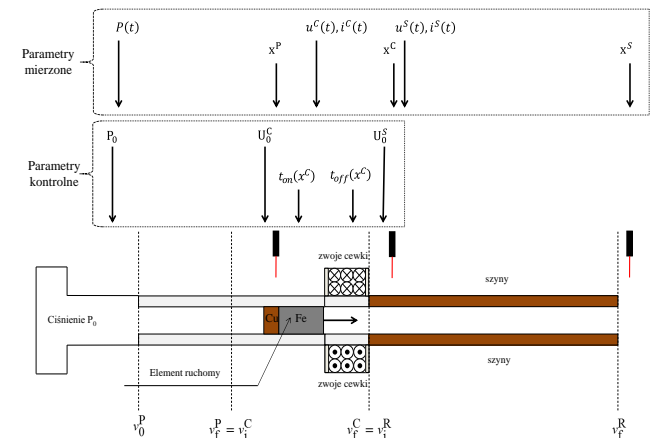


Rys. 9. Widok części pomiarowej hybrydowej wyrzutni elektromagnetycznej

6. Koncepcja systemu sterowania hybrydową wyrzutnią za pośrednictwem sterownika czasu rzeczywistego

Nowa koncepcja zintegrowanego układu sterowania hybrydową wyrzutnią elektromagnetyczną (rys. 10), którego głównym elementem jest sterownik czasu rzeczywistego CompactRIO-9022 firmy National Instrument ma umożliwiać zdalne nastawy wielkości sterujących wyrzutnią:

- wartości początkowej ciśnienia gazu w zbiorniku P_0 ,
- wartości napięcia na baterii kondensatorów zasilających elektromagnetyczny cewkowy moduł napędowy U_0^C ,
- wartości napięcia na baterii kondensatorów zasilających elektromagnetyczny szynowy moduł napędowy U_0^S ,
- czas załączenia $t_{on}(x^C)$ i wyłączenia zasilania $t_{off}(x^C)$ elektromagnetycznego cewkowego modułu napędowego.

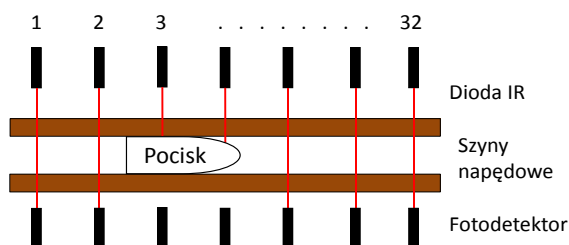


Rys. 10. Koncepcja zintegrowanego systemu sterowania hybrydową wyrzutnią elektromagnetyczną – parametry sterowania i pomiaru

Sterownik czasu rzeczywistego CompactRIO-9022 jest wyposażony w moduły cyfrowe oraz analogowe. Oprócz nastaw wielkości sterujących ma pełnić również funkcję układu pomiarowego, tak aby na podstawie sygnałów z barier optycznych możliwy był pomiar oraz wizualizacja prędkości elementu ruchomego (pocisku). Ponadto na podstawie sygnału pochodzącego z cewek Rogowskiego ma być zapewniona możliwość pomiaru i wizualizacji prądu rozładowania dla elektromagnetycznych modułów hybrydowej wyrzutni elektromagnetycznej oraz przetwarzania tego sygnału dla otrzymania dodatkowych informacji o rozpędzaniu pocisku.

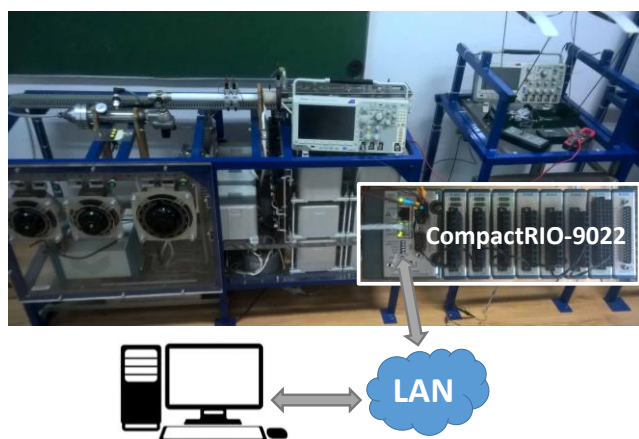
Modernizacja hybrydowej wyrzutni elektromagnetycznej o zintegrowany układ sterowania umożliwi doświadczalne zbadanie rozkładu prędkości w elektromagnetycznym szynowym module napędowym. Dokładny pomiar umożliwi lepsze poznanie rozkładu przemieszczenia elementu ruchomego i oddziaływania

siły tarcia powierzchni zewnętrznej elementu ruchomego w szynach napędowych. W tym celu układ szyn napędowych zostanie zmodyfikowany i zawierać będzie 32 bariery optyczne (rozmszczone co 1,5 cm) (rys. 11). Sterownik czasu rzeczywistego za pośrednictwem karty NI 9403 umożliwi zarejestrowanie 32 przecięć wiązek świetlnych przez element ruchomy, a następnie przetworzenie otrzymanych sygnałów.



Rys. 11. Uproszczona koncepcja dodatkowego układu pomiaru przemieszczenia w szynach napędowych

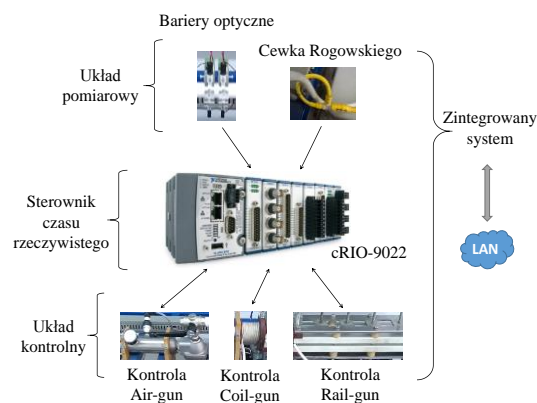
Jak już wcześniej wspomniano przebywanie osób w tym samym pomieszczeniu, co urządzenie podczas wystrzału może być niebezpieczne, dlatego postanowiono umożliwić zdalne zadawanie i odczyt parametrów pracy. Koncepcja zintegrowanego systemu sterowania będzie umożliwiać komunikację ze sterownikiem CompactRIO-9022 za pośrednictwem sieci LAN (rys. 12).



Rys. 12. Koncepcja zdalnego sterowania hybrydową wyrzutnią elektromagnetyczną

Uproszczony blokowy schemat (rys. 13) przedstawia wspomnianą koncepcję zintegrowanego układu sterowania opartego na sterowniku czasu rzeczywistego CompactRIO-9022.

Koncepcja zintegrowanego sterowania jest jednym z kroków, które umożliwią, po opracowaniu zaawansowanego programu zaimplementowanego w sterowniku czasu rzeczywistego, sterowanie procesem rozpędzania elementu ruchomego w trakcie lotu w hybrydowej wyrzutni elektromagnetycznej.



Rys. 13. Koncepcja zintegrowanego systemu sterowania hybrydową wyrzutnią elektromagnetyczną (funkcja sterowania i układ pomiarowy)

7. Podsumowanie

W artykule przedstawiono koncepcję zastosowania sterownika czasu rzeczywistego CompactRIO w układzie sterowania hybrydowej wyrzutni elektromagnetycznej ze wspomaganie pneumatycznym. Układ sterowania zgodnie z tą koncepcją będzie umożliwiać zdalne zadawanie parametrów pracy hybrydowej wyrzutni, jak również umożliwi zdalny odczyt i wizualizację parametrów pracy. Ze względu na to, że układ sterowniczy (sterownik CompactRIO-9022) jest produktem firmy National Instruments przyszły program zostanie napisany w graficznym języku G stanowiącym rysunek przepływu informacji.

Literatura

- [1] Chruściel M.: LabVIEW w praktyce, Legionowo: BTC, 2008.
- [2] Domin J.: Wyrzutnia elektromagnetyczna o napędzie cewkowym oraz o napędzie szynowym – modelowanie i badania symulacyjne. Mechatronika – analiza projektowanie i badania wybranych elementów i systemów. Wydawnictwo PAK, Warszawa 2013.
- [3] Domin J., Kroczyk R.: Moduł szynowy hybrydowej wyrzutni elektromagnetycznej ze wspomaganie pneumatycznym – obliczenia elektromagnetyczne. Przegląd Elektrotechniczny 12/2010, 36–37.
- [4] Egeland A.: Birkeland's electromagnetic gun: a historical review. IEEE TransPlasm. 17(2)/1989.
- [5] Raczynski Z.: Model wyrzutni elektromagnetycznej. Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe 1/2007, 21–34.
- [6] <http://www.ni.com/product-documentation/8136/en/>
- [7] <http://www.ni.com/newsletter/50704/en/>

Mgr inż. Tomasz Makowski
e-mail: Tomasz.Makowski@polsl.pl

Autor urodził się w 1990 roku. Wykształcenie wyższe techniczne zdobył na Politechnice Śląskiej ze specjalności zastosowanie mechatroniki w inżynierii elektrycznej. Dyplom magistra uzyskał w 2014 roku. W tym samym roku rozpoczął studia III stopnia w katedrze mechatroniki Politechniki Śląskiej zarazem pracując w Ośrodku Badawczo-Rozwojowym Urzędzeń Mechanicznych „OBRUM” sp. z o. o. jako konstruktor elektronik-automatyk.



otrzymano/received: 15.06.2016

przyjęto do druku/accepted: 01.06.2017