

Tomasz **MAKOWSKI**  
Jarosław **DOMIN**

## SZYBKOŚĆ ZMIAN STANU WYJŚCIA STEROWNIKÓW CRIO-9022 ORAZ MYRIO-1900

**Streszczenie.** W artykule dokonano porównania wybranych parametrów sterowników cRIO-9022 (sterownik przemysłowy) oraz myRIO-1900 (sterownik dydaktyczny) z punktu widzenia możliwości wykorzystania ich w układzie sterowania wyrzutni elektromagnetycznej. Przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych ukierunkowanych na porównanie czasu narastania oraz opadania zbocza sygnału na wyjściu cyfrowym dla obu sterowników. Badania przeprowadzono w celu oceny możliwości wykorzystania zamiennie obu sterowników w układzie sterowania pracą hybrydowej wyrzutni elektromagnetycznej ze wspomaganie pneumatycznym.

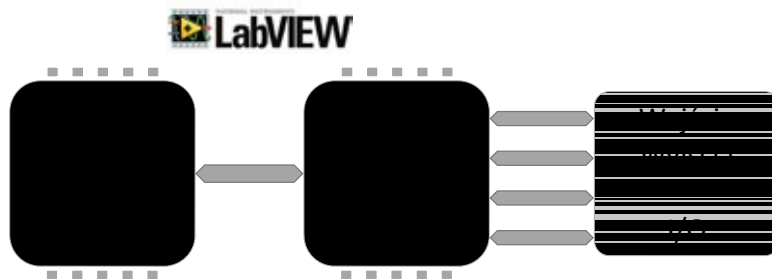
**Słowa kluczowe:** sterownik, cRIO-9022, myRIO-1900, czas narastania oraz opadania zbocza sygnału, czas przełączania.

### 1. CHARAKTERYSTYKA URZĄDZEŃ CRIO ORAZ MYRIO

#### 1.1. Informacje ogólne

Sterownik CompactRIO (cRIO) oraz myRIO należą do rodziny urządzeń RIO (z ang. Reconfigurable I/O) z wydajną i elastyczną architekturą, unowocześnianą sukcesywnie od 10 lat przez firmę National Instruments (NI) [6].

Architektura RIO integruje cztery komponenty, przedstawione w sposób graficzny na rys. 1: procesor czasu rzeczywistego, układy FPGA (z ang. Field-Programmable Gate Array), modułowe wejścia i wyjścia oraz kompletny programowy pakiet narzędzi do programowania każdego bloku prezentowanej architektury [5],[6].

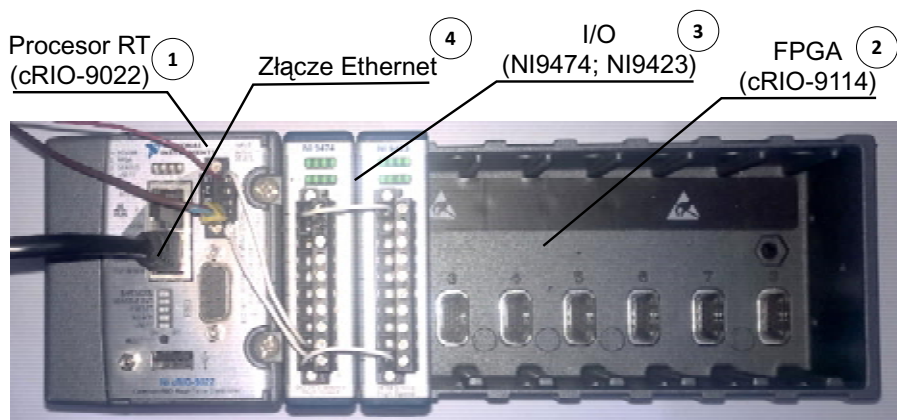


Rys. 1. Architektura RIO

Oprogramowanie LabVIEW dedykowane dla urządzeń serii RIO zawiera komplet wbudowanych funkcji oraz algorytmów. Programowanie matrycy bramek FPGA wymaga użycia niskopoziomowych narzędzi programistycznych i języka opisu sprzętu (HDL, VHDL, Verilog). Urządzenia serii RIO można programować w sposób intuicyjny przy użyciu graficznego języka G upraszczającego sposób programowania FPGA. Należy zwrócić uwagę, że oprogramowanie LabVIEW oraz sterowniki firmy National Instrument cieszą się coraz większą popularnością wśród inżynierów na całym świecie [1], [3], [5].

## 1.2. Opis cRIO

Przemysłowy sterownik CompactRIO, przedstawiony na rys. 2, składa się z: kontrolera czasu rzeczywistego (1), modułu FPGA (2), rekonfigurowanych modułów wejść-wyjść I/O (3) oraz zintegrowanego złącza Ethernet (4). Standardowo urządzenie posiada 4 lub 8 złącz interfejsów I/O (moduły serii C), których liczbę można zwiększyć za pomocą gniazd rozszerzeń [6].



**Rys. 2. Widok ogólny zastosowanego sterownika CompactRIO**

Obecnie w ofercie firmy można znaleźć ponad 150 modułów z serii C, między innymi cyfrowe i analogowe moduły wejść i wyjść. Ponadto można znaleźć moduły do komunikacji z magistralami szeregowymi (RS232, RS485, RS422, LIN, CAN), sterowania silnikami czy też moduły bezpieczeństwa. Seria ta jest przeznaczona do pracy w warunkach przemysłowych. W tab. 1 przedstawiono podział modułów pod względem wybranych parametrów [4], [7].

**Tablica. 1.** Podział modułów z serii C pod względem wybranych parametrów [4]

Typ modułu serii C	Mierzona wielkość	Maksymalna ilość operacji na sekundę
Cyfrowe wejście	LVTTL, VTTL, 12V, 24V, 60V, 0÷50V	1 milion operacji/sekundę
Cyfrowe wyjście	LVTTL, VTTL, 12V, 24V, 30V, 250V <sub>DC</sub> , 250V <sub>AC</sub>	1 milion operacji/sekundę
Przełącznikowe	60V <sub>DC</sub> , 250V <sub>AC</sub>	1 operacja/sekundę
Analogowe wejście napięciowe	±200mV, ±500mV, ±1V, ±5V, ±10V, ±60V, 3V <sub>rms</sub> , 300V <sub>rms</sub> , 400V <sub>rms</sub> , 800V <sub>rms</sub>	1 milion operacji/sekundę/kanal
Analogowe wejście prądowe	±20mA, 5A <sub>rms</sub> , 20A <sub>rms</sub> , 50A <sub>rms</sub> ,	200 tysięcy operacji/sekundę
Analogowe uniwersalne wejście	V, mA, TC, RTD, Ω, IEPE	51,2 tysięcy operacji/sekundę/kanal
Analogowe wyjście napięciowe	±10V, ±40V, 3V <sub>rms</sub> ,	1 milion operacji/sekundę/kanal

Typ modułu serii C	Mierzona wielkość	Maksymalna ilość operacji na sekundę
Analogowe wyjście prądowe	20 mA	100 tysięcy operacji/sekundę/kanał
Temperaturowe	Typ: J, K, T, E, N, B, R, S, PT100, PT1000	400 operacji/sekundę
Napężenia – mostek tensometryczny	1/4, 1/2, pełny mostek	50 tysięcy operacji/sekundę/kanał
Drgań i dźwięku	±5V, ±30V	102,4 tysięcy operacji/sekundę/kanał

W dostępnym szerokim asortymencie modułów serii C może okazać się, że wymagany dla docelowego systemu moduł nie istnieje. Dla takich przypadków został stworzony moduł cRIO-9951 „Module Development Kit”, który daje możliwość osobom trzecim, indywidualnym użytkownikom stworzenia własnego modułu serii C. Podczas tworzenia modułu należy mieć na uwadze ograniczenia związane z wymaganiami mechanicznymi i elektrycznymi [8].

### 1.3. Opis myRIO

MyRIO, podobnie jak cRIO, zawiera: system czasu rzeczywistego, wbudowany układ FPGA oraz – w odróżnieniu do cRIO – wbudowane interfejsy I/O (brak możliwości rozszerzeń). Dedykowany jest głównie dla ośrodków dydaktycznych z możliwością implementacji w podstawowych układach przemysłowych.[9], [14], [15].

MyRIO występuje w dwóch odmianach myRIO-1900 (rys. 3) oraz myRIO-1950. Nieco tańsza odmiana myRIO - 1950 niezawierająca m.in. obudowy i modułu Wi-Fi.



Rys. 3. Widok ogólny myRIO-1900

### 1.4. Porównanie danych technicznych zastosowanych sterowników

Parametry znamionowe, wybranych do porównania sterowników (cRIO-9022 wraz z podstawką cRIO-9114 zawierającą moduł FPGA oraz myRIO-1900), zostały zbiorczo przedstawione w tab. 2.

Sterownik cRIO-9022 jest obecnie wykorzystywany jako główny układ systemu kontrolno-pomiarowego stanowiska badawczego z hybrydową wyrzutnią elektromagnetyczną ze wspomaganiami pneumatycznymi. W trakcie prowadzonych prac badawczych postanowiono rozważyć możliwość zastosowania sterownika myRIO-1900 [2].

**Tablica. 2.** Porównanie parametrów cRIO-9022 z myRIO-1900[10], [11], [12], [14]

Parametr	cRIO-9022 wraz cRIO-9114 i NI9474	myRIO-1900
Częstotliwość procesora RT	533 MHz	667 MHz
Procesor FPGA	Virtex-5 LX 50 40 MHz	Xilinx Z-7010 40 MHz
Szybkość odświeżania wyjścia cyfrowego	1 $\mu$ s	-
Zakres napięciowy wyjścia cyfrowego	od 5 V do 30 V	3,3 V lub 5 V
Pamięć nieulotna	2 GB	512 MB
Pamięć DRAM	256 MB	256 MB
Dokładność zegara	200ppm, 35ppm w 24°C	-
Zasilanie	9 V÷35 V 55 W (17 W sam sterownik)	6 V÷16 V 14 W
Połączenie internetowe	2 porty Ethernet z możliwością zwiększenia poprzez moduły	Bezprzewodowe IEEE 802.11 b,g,n
Temperatura pracy	-20 °C ... +55 °C	0 °C ... 40 °C
Stopień ochrony obudowy IP	IP40	-
Wejścia-wyjścia	Dowolna ilość oraz konfiguracja, zależna od zastosowanych modułów	Zdefiniowane w urządzeniu (patrz [14])

## 2. WERYFIKACJA POMIAROWA SZYBKOŚCI STEROWANIA CRIO I MYRIO

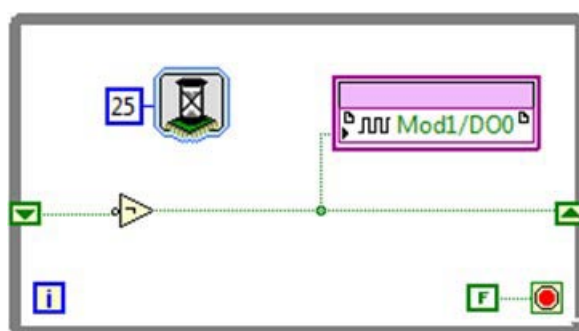
### 2.1. Ogólne informacje pomiaru

Wybrane do porównania sterowniki posiadają różne układy procesorowe, co może być przyczyną różnic w czasach przełączania wyjścia cyfrowego. W celu porównania czasu przełączenia opracowano dwa identyczne programy w środowisku LabVIEW, których zadaniem jest sterowanie jednym wyjściem cyfrowym, przy założeniu nieaktywnych pozostałych modułów wejść-wyjść. Badania przeprowadzono w identycznych warunkach atmosferycznych - sterowniki znajdowały się obok siebie, a pomiar rejestrowany był w tym samym czasie. Wyniki pomiarowe zarejestrowano oscyloskopem Tektronix MDO3012 z sondą Tektronix TPP0250, o częstotliwości próbkowania 100 MHz. Otrzymane wyniki badań pomiarowych zostały przedstawione i omówione w rozdz. 2.2 (szybkość zmian stanu nieobciążonego wyjścia cyfrowego przy sterowaniu wyłącznie z poziomu FPGA), rozdz. 2.3 (czas przełączania wejścia cyfrowego przy wysterowaniu stanu wyjścia dokonywanego z poziomu FPGA) oraz rozdz. 2.4 (czas przełączania wejścia cyfrowego przy wysterowaniu stanu wyjścia dokonywanego z poziomu RT).

## 2.2. Szybkość zmian stanu nieobciążonego wyjścia cyfrowego przy sterowaniu wyłącznie z poziomu FPGA

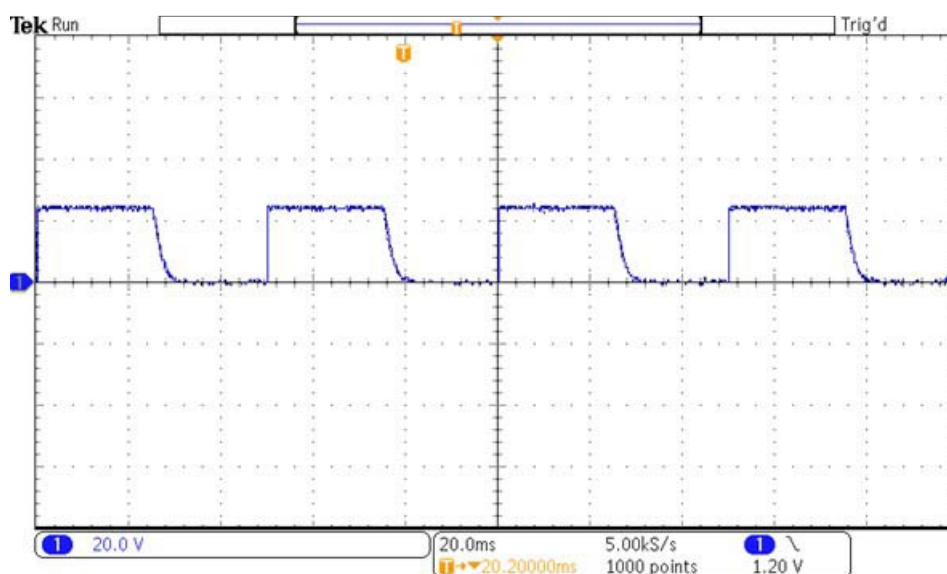
Sterowanie z poziomu FPGA wyjściem cyfrowym pozwala na pominięcie procesów związanych z przesyłaniem danych pomiędzy modułem FPGA, a procesorem czasu rzeczywistego RT. Oba wybrane do analizy sterowniki pracują z taką samą częstotliwością, w związku z czym porównanie szybkości zmian stanu wyjścia cyfrowego jest zależne jedynie od zastosowanego przez producenta układu przełączania wyjścia sygnałowego.

Opracowane programy (rys. 4), zaimplementowane w obu analizowanych sterownikach, zostały napisane przy pomocy języka graficznego G w środowisku LabVIEW. Główną część programu stanowi pętla „while”, która cyklicznie zmienia stan wyjścia. Dodatkowo w pętli umieszczono funkcję „wait”, która opóźnia wykonywanie pętli o ściśle zadany czas.



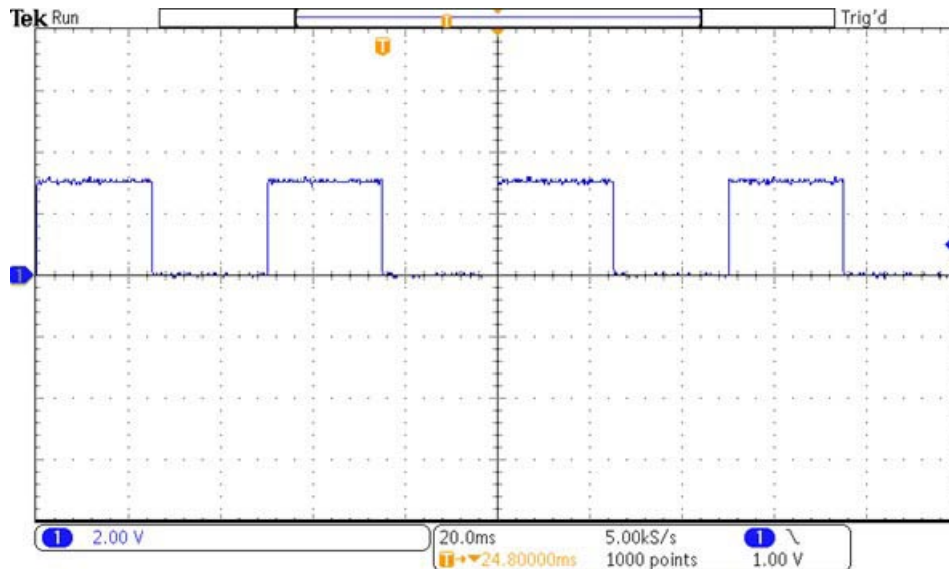
Rys. 4. Program do badań częstotliwości zmian wyjścia cyfrowego – generator

W pierwszym etapie przeprowadzono badania zmian stanu wyjścia dla generowanego sygnału o częstotliwości przełączania 40 Hz (cykliczna zmiana stanu wyjścia co 25 ms). Zarejestrowane przebiegi przedstawiono odpowiednio dla cRIO i myRIO na rys. 5 i rys. 6.



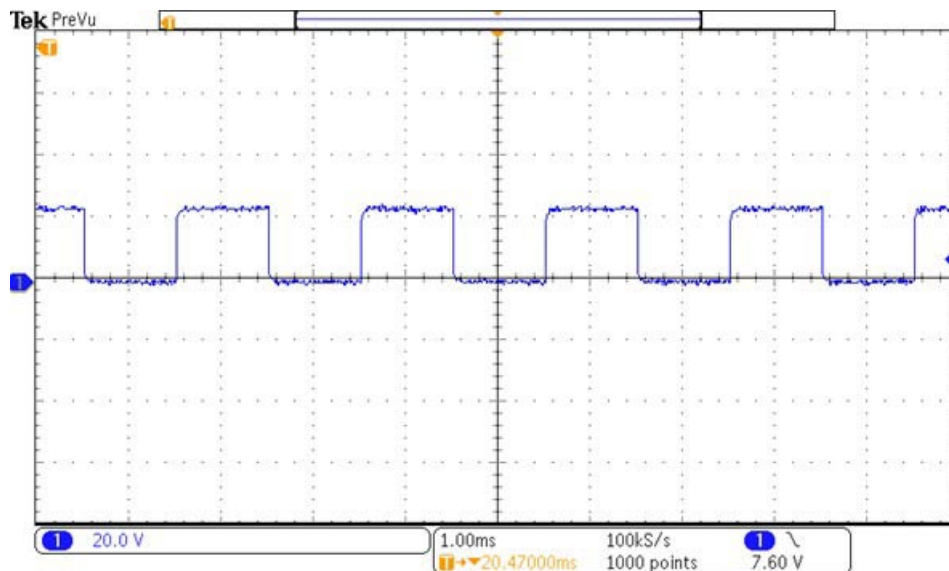
Rys. 5. Wynik badań stanu wyjścia cRIO dla 40 Hz

Przedstawiony na rysunku 5 przebieg czasowy zmian stanu wyjścia dla sterownika wykazuje, że podczas przełączania sygnału widoczne jest zbrocze opadające o stałej czasowej równej 8 ms. W celu eliminacji zbrocza opadającego należy pomiędzy badane wyjście, a masę włączyć dodatkową rezystancję.

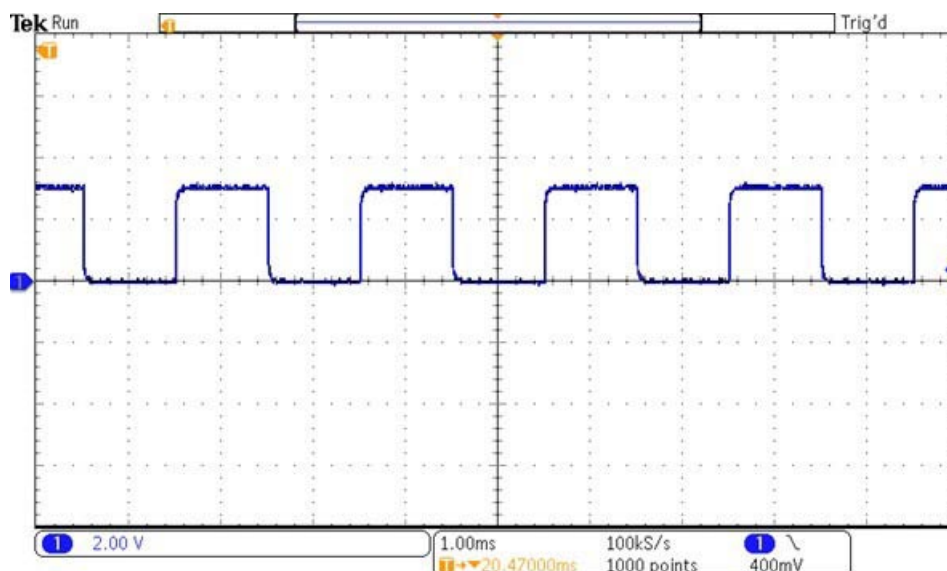


Rys. 6. Wynik badań stanu wyjścia myRIO dla 40 Hz

W kolejnym kroku przeprowadzono badania dla częstotliwości przełączania sygnału 1 kHz (1 ms). Zarejestrowane przebiegi przedstawiono dla sterownika cRIO i dla myRIO odpowiednio na rysunkach 7 i 8.

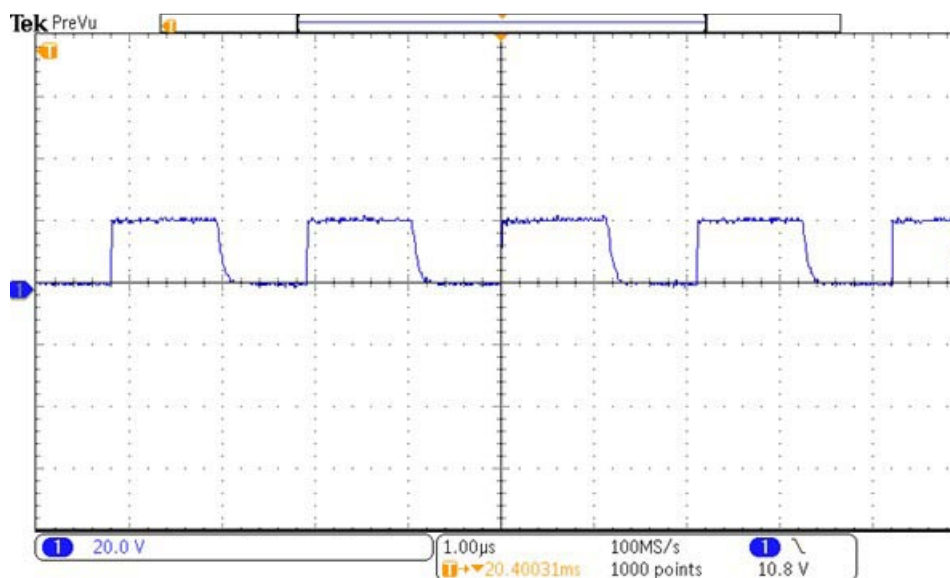


Rys. 7. Wynik badań stanu wyjścia cRIO dla 1 kHz

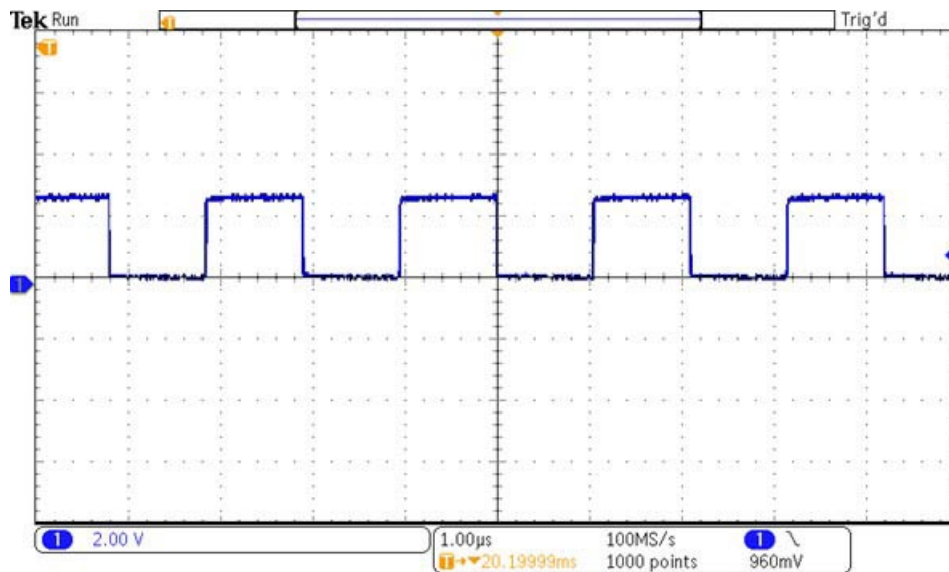


**Rys. 8. Wynik badań stanu wyjścia myRIO dla 1 kHz**

Uzyskane wyniki są zadowalające (sygnał cechuje się wypełnieniem 50% i nie występują zakłócenia, które uniemożliwiłyby prawidłową pracę sterownika w układzie sterowania hybrydowej wyrzutni). W kolejnym kroku zwiększono częstotliwość przełączania sygnału do wartości 1 MHz ( $1\ \mu\text{s}$ ). Zarejestrowane przebiegi przedstawiono na rysunku 9 (cRIO) i rysunku 10 (myRIO).



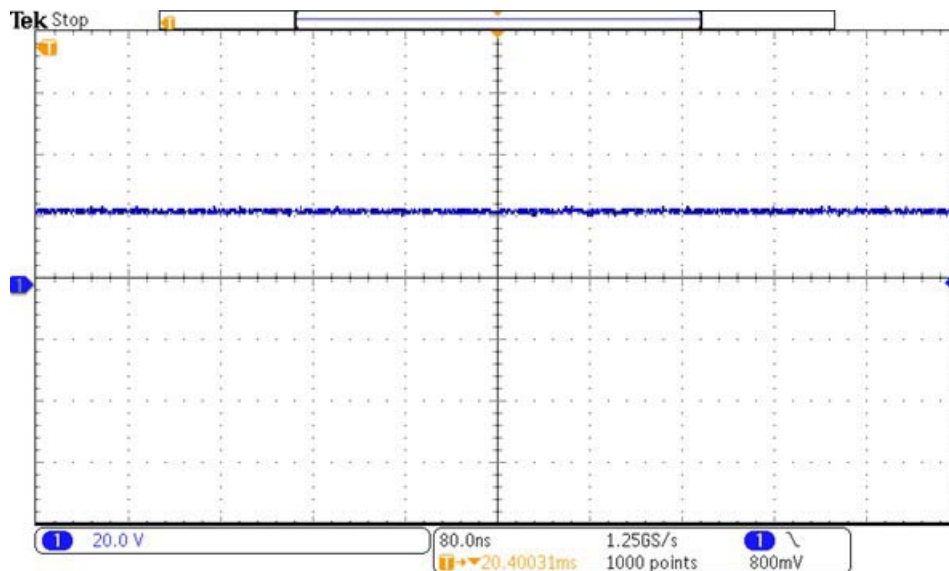
**Rys. 9. Wynik badań stanu wyjścia cRIO dla 1 MHz**



**Rys. 10. Wynik badań stanu wyjścia myRIO dla 1 MHz**

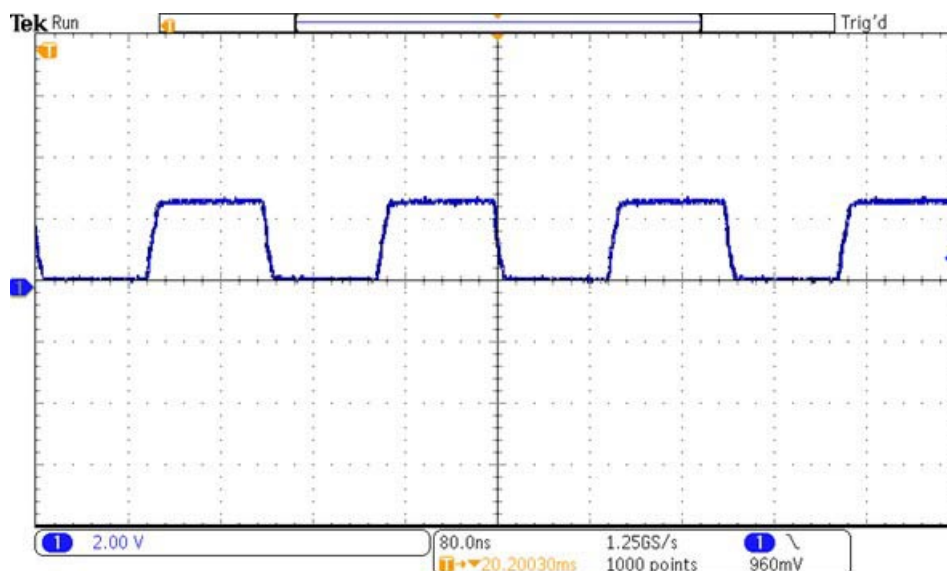
Na zamieszczonych rysunkach widać, że odstępstwa od zadanych warunków (przełączanie z częstotliwością 1 MHz) są nieznaczne, ponadto na wyjściu z urządzenia cRIO ponownie można zaobserwować zbcze opadające. Pomimo zniekształcenia sygnału przy częstotliwości przełączania 1 MHz wyniki uznaje się za satysfakcjonujące, ponieważ w dalszym ciągu zapewnią prawidłową pracę hybrydowej wyrzutni.

W kolejnym etapie przeprowadzono badania stanu wyjścia bez wprowadzania opóźnienia (brak funkcji „wait”). Zarejestrowane przebiegi zamieszczono na rys. 11 dla cRIO oraz dla myRIO na rys. 12.



**Rys. 11. Wynik badań stanu wyjścia cRIO bez wprowadzonego czasu opóźnienia**



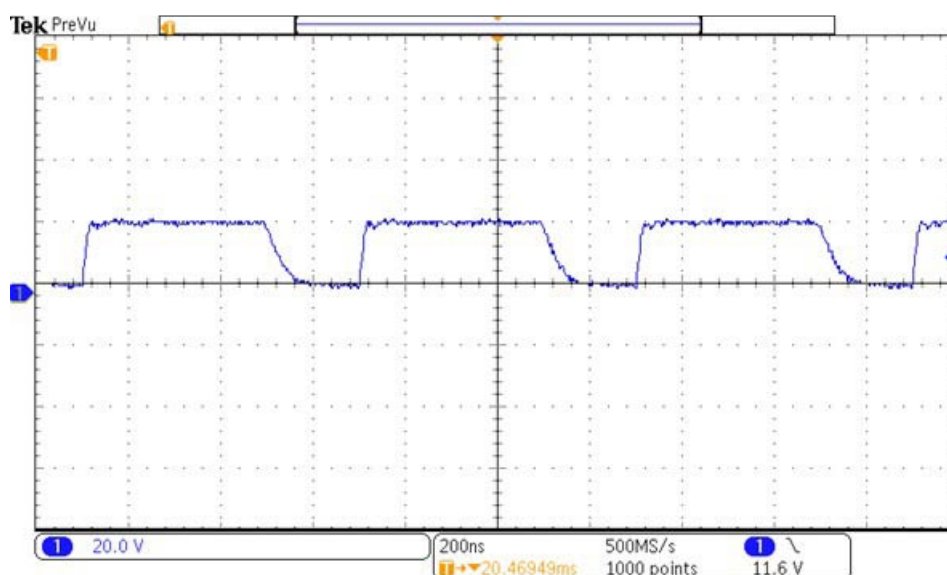


**Rys. 12. Wynik badań stanu wyjścia myRIO bez wprowadzonego czasu opóźnienia**

Usunięcie bloku umożliwiającego zadanie czasów opóźnienia (czasu trwania danego stanu) „wait”, spowodowało w przypadku sterownika cRIO nałożenie (złanie się) sygnału, przez co sygnał wyjściowy ma charakter ciągły. Natomiast w przypadku sterownika myRIO uzyskano częstotliwość przełączania sygnału 10 MHz (100 ns). Ponadto można zaobserwować, że zbocza opadające i narastające nie mają charakteru skoku jednostkowego (zauważalne jest zbocze opadające i narastające).

Uzyskane przebiegi czasowe uwidaczniają, że sygnały przełączania są zbyt mocno zniekształcone (zarówno dla cRIO, jak i dla myRIO), aby prawidłowo można było sterować pracą hybrydowej wyrzutni elektromagnetycznej ze wspomaganie pneumatycznym.

W celu określenia minimalnych czasów przełączania kontrolera cRIO z kartą NI 9474 konieczne jest zmniejszenie wartości rezystancji pomiędzy wyjściem cyfrowym a masą (wartość rezystancji 330  $\Omega$  jest wystarczająca do przeprowadzania dalszych badań).



**Rys. 13. Wynik badań stanu wyjścia myRIO z minimalnym czasem wysterowania**

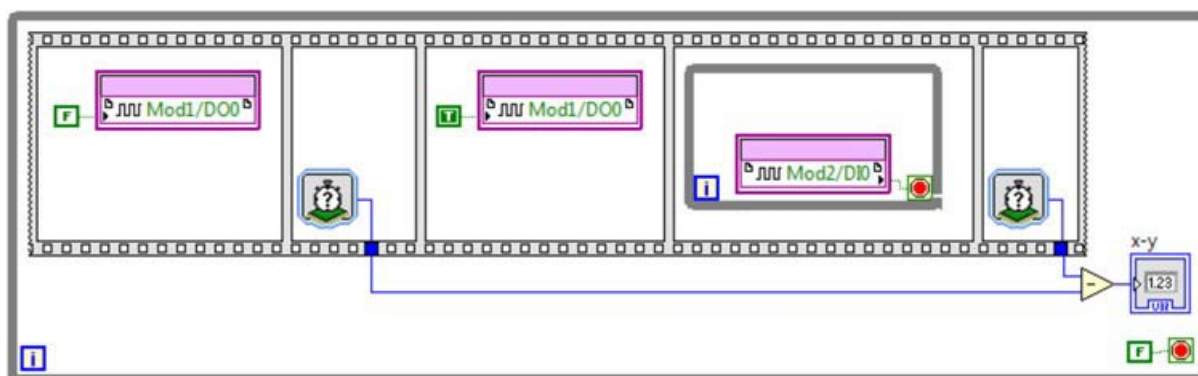
Na rysunku 13 przedstawiono zarejestrowany przebieg dla minimalnego czasu przełączania (dla największej częstotliwości przełączania 4 MHz), który gwarantuje prawidłowe przełączenie wyjścia cyfrowego (brak efektu nakładania się stanów na siebie).

### 2.3. Czas przełączania wejścia cyfrowego przy wysterowaniu stanu wyjścia dokonywanego z poziomu FPGA

W kolejnym etapie badań przeprowadzono pomiary czasu pomiędzy wysterowaniem fizycznego wyjścia cyfrowego i odpowiedzią na drugim fizycznym wejściu cyfrowym wartości sygnału (logicznego 1 lub 0).

Do tego celu wykorzystano dodatkowo moduł wejść cyfrowych NI9423, charakteryzujący się szybkością odświeżania wejścia 1  $\mu$ s[13]. Fizyczny układ połączeń elektrycznych został wykonany w taki sposób, że wyjście modułu cyfrowego NI9474 połączono bezpośrednio z wejściem z modułu NI9423.

Na rysunku 14 przedstawiono opracowany program do weryfikacji czasu przełączania, zaimplementowany na poziomie FPGA, dla obu badanych sterowników.



Rys. 14. Program do badań czasu przełączania przy sterowaniu z FPGA

Uzyskane wyniki (odczyt wartości z bloku "x-y") zestawiono w tabelicy 3, w której wyróżniono czas potrzebny do wykonania pierwszej iteracji programu (program bez zewnętrznej pętli „while”) oraz średni czas wykonywania programu.

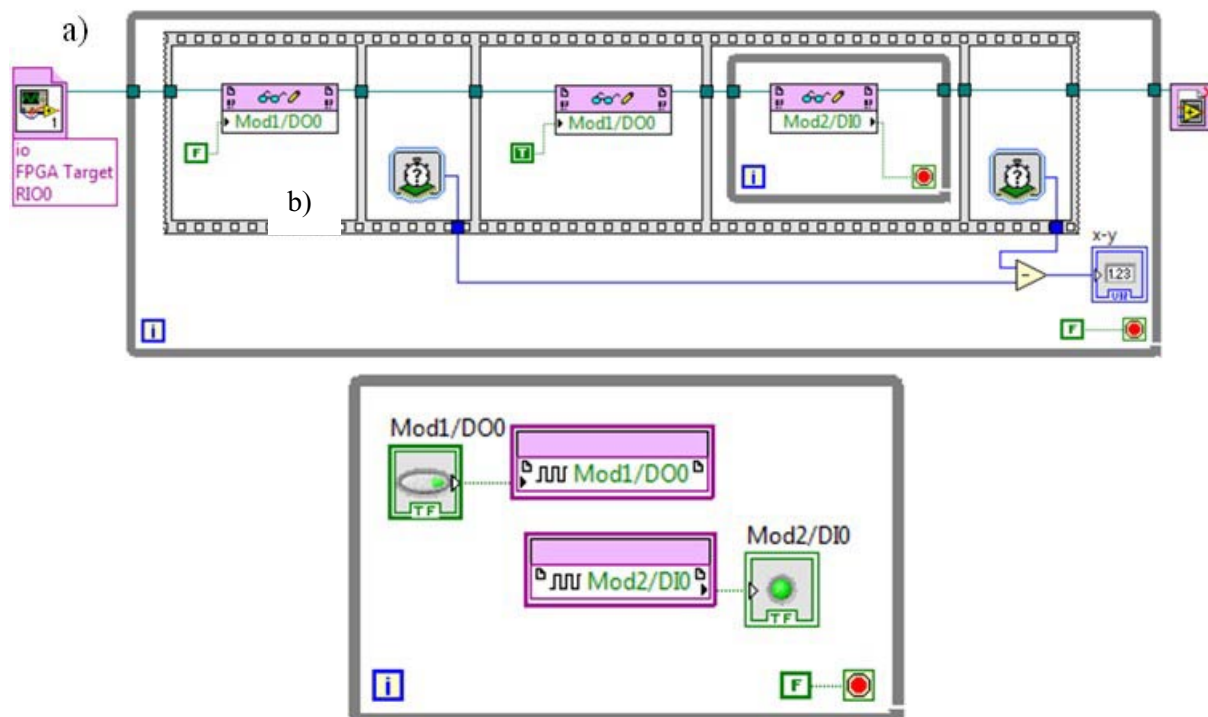
Tablica. 3. Porównanie czasów przełączania wykonania programu z poziomu FPGA

Parametr	cRIO-9022	myRIO-1900
Średni czas wykonania pierwszej iteracji	150 ns (6,67 MHz)	225 ns (4,4 MHz)
Średni czas wykonania	150 ns (6,67 MHz)	225 ns (4,4 MHz)

Uzyskane wyniki zaprezentowane w tabelicy 3 wykazują, że sterownik przemysłowy cechuje się szybszym czasem reakcji niżeli sterownik myRIO, pomimo zastosowanych procesorów o tym samym taktowaniu.

## 2.4. Czas przełączania wejścia cyfrowego przy wysterowaniu stanu wyjścia dokonywanego z poziomu RT

W analogiczny sposób przeprowadzono weryfikację czasu przełączania dla sterowania z poziomu procesora czasu rzeczywistego RT. Do tego celu opracowano program zaimplementowany w module czasu rzeczywistego RT obu sterowników. Program zawiera w sobie fragment odpowiedzialny za sterowanie wyjściem cyfrowym oraz pętlę oczekującą na odbiór wartości na wejściu cyfrowym (rys. 15a). W celu fizycznego sterowania wyjściem i wejściem cyfrowym niezbędne jest również opracowanie fragmentu kodu dla poziomu FPGA (rys. 15b).



**Rys. 15. Program do badań czasu przełączania:**

a) dla RT, b) dla FPGA

Uzyskane wyniki zestawiono zbiorczo w tabelicy 4, w której wyróżniono czas potrzebny do wykonania pierwszej iteracji (program RT bez zewnętrznej pętli „while”) oraz średni czas.

**Tablica. 4. Porównanie czasów przełączaniawykonania programu**

Parametr	cRIO-9022	myRIO-1900
Średni czas wykonania pierwszej iteracji	28 $\mu$ s (25,7 kHz)	24 $\mu$ s (41,7 kHz)
Średni czas wykonania	6 $\mu$ s (166,7 kHz)	8 $\mu$ s (125 kHz)

Przy sterowaniu z poziomu RT również kontroler cRIO wykazał nieznacznie mniejsze czasy reakcji. Natomiast w uzyskanych wynikach tych badań należy zwrócić uwagę, że czas wykonania pojedynczej iteracji jest znacznie dłuższy, niż ciągła praca programu w nieskończonej pętli.

### 3. WNIOSKI

W artykule dokonano porównania wybranych parametrów sterowników cRIO-9022 (sterownik przemysłowy) oraz myRIO-1900 (sterownik dydaktyczny). Przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych ukierunkowanych na porównanie czasu narastania oraz opadania zbocza sygnału na wyjściu cyfrowym dla obu sterowników. Badania przeprowadzono w celu oceny możliwości wykorzystania zamiennie obu sterowników w układzie sterowania pracą hybrydowej wyrzutni elektromagnetycznej ze wspomaganie pneumatycznym.

Porównano wybrane parametry sterowników cRIO-9022 (sterownik przemysłowy) oraz myRIO-1900 (sterownik dydaktyczny), czasy narastania oraz opadania zbocza na wyjściu cyfrowym, jak również przeprowadzono weryfikację czasu przełączania sygnału dla dwóch różnych przypadków: sterowanie z poziomu FPGA oraz RT. Badania te zostały przeprowadzone w celu oceny możliwości wykorzystania (zamiennie) obu tych sterowników w układzie kontrolno-pomiarowym stanowiska badawczego z hybrydową wyrzutnią elektromagnetyczną ze wspomaganie pneumatycznym.

Przeprowadzone badania laboratoryjne wykazały, iż oba badane sterowniki można zastosować w układach, gdzie wymagana maksymalna częstotliwość przełączania sygnału jest rzędu kHz.

W rozdziale 2 wykazano również, że moduł NI9474 wymaga obciążenia prądowego wyjścia, a dla procesu poprawnego przełączania sygnału z największą częstotliwością lepszy okazał się sterownik myRIO-1900. Autorzy artykułu są świadomi, że obciążenie wyjścia cyfrowego rezystorem może być niewystarczające w układach o tak wysokich częstotliwościach pracy, ale uznali, że tego typu podejście jest wystarczające dla badań testowych. Przeprowadzone badania wykazały, że czas wykonania programu z poziomu procesora czasu rzeczywistego podczas jednokrotnego i ciągłego działania znacznie się różni (3-4-krotnie); zjawiska tego nie zaobserwowano przy sterowaniu z poziomu FPGA.

Podsumowując, można stwierdzić, że zostały potwierdzone deklarowane przez producenta właściwości zastosowanego w procesorze myRIO procesora FPGA (nie odbiegają one jakością od układów stosowanych w sterownikach przemysłowych, np. cRIO). Sterownik cRIO daje ponadto możliwość sterowania układami wykonawczymi w szerszym zakresie napięć oraz posiada możliwość pracy w mniej korzystnych warunkach środowiskowych.

Zaprezentowane wyniki badań potwierdziły możliwość zastosowania sterownika myRIO-1900 w miejsce obecnego sterownika cRIO-9022, zamontowanego na stanowisku z hybrydową wyrzutnią elektromagnetyczną ze wspomaganie pneumatycznym. Dalsze badania będą zorientowane na dopasowanie napięcia sterowania pomiędzy hybrydową wyrzutnią, a sterownikiem my-RIO1900 oraz weryfikację pomiarową w warunkach rzeczywistych (na stanowisku badawczym z hybrydową wyrzutnią elektromagnetyczną).

### 4. LITERATURA

- [1] Andrade H. A., Hogg S., Ahrends S.: Making FPGAs accessible to Scientists and Engineers as Domain Expert Software Programmers with LabVIEW. W: 1<sup>st</sup> International Workshop on FPGAs for Software Programmers (FSP 2014), September, 2014, Munich, Germany 2014.
- [2] Makowski T.: Koncepcja systemu sterowania hybrydową wyrzutnią elektromagnetyczną przy zastosowaniu sterownika czasu rzeczywistego. Informatyka Automatyka Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska nr 2/2017.

- [3] Ponce-Cruz P., Molina A., MacCleery B.: Fuzzy Logic Type 1 and Type 2 Based on LabVIEW™ FPGA. Springer International Publishing, Switzerland 2016.
- [4] <http://www.ni.com/pl-pl/shop/select/compactrio-modules-category#facet:&productBeginIndex:0&orderBy:&pageView:grid&pageSize:&>, [dostęp: 15.05.2018].
- [5] <http://www.ni.com/white-paper/10894/en/>, [dostęp: 15.05.2018].
- [6] <http://www.ni.com/white-paper/52251/en/>, [dostęp: 15.05.2018].
- [7] <http://www.ni.com/white-paper/53031/en/>, [dostęp: 15.05.2018].
- [8] <http://www.ni.com/white-paper/9017/en/>, [dostęp: 15.05.2018].
- [9] <http://www.ni.com/pl-pl/shop/select/myrio-student-embedded-device>, [dostęp: 15.05.2018].
- [10] USER MANUAL AND SPECIFICATIONS NI cRIO-9022 Intelligent Real-Time Embedded Controller for CompactRIO. 2015.
- [11] USER MANUAL AND SPECIFICATIONS NI cRIO-9111/9112/9113/9114/9116/9118 CompactRIO Reconfigurable Embedded Chassis. 2016.
- [12] DATASHEET NI 9474. 2016.
- [13] DATASHEET NI 9423. 2015.
- [14] USER GUIDE AND SPECIFICATIONS NI myRIO-1900. 2016.
- [15] USER GUIDE AND SPECIFICATIONS NI myRIO-1950. 2013.

## **cRIO-9022 AND myRIO-1900 CONTROLLER OUTPUT STATE CHANGE RATES**

**Abstract.** The article compares some selected parameters of the cRIO-9022 (industrial controller) and myRIO-1900 (student device) from the point of view of their possible use in the electromagnetic launcher control system. The results of laboratory tests aimed at comparing the rise and fall time of the signal edge at the digital output for both controllers are presented. The study was conducted to assess the interchangeability of both controllers in the control system of a hybrid electromagnetic launcher with pneumatic assist.

**Keywords:** Controller, cRIO-9022, myRIO-1900, rise and fall time of signal edge, switching time.