

# Budowa kontrolera i badanie precyzji znakowarki laserowej

Sebastian Borówka, Michał Lipka,  
Kamil Stankiewicz, Tomasz Szawęło  
Opiekun: dr hab. Wojciech Wasilewski, prof. UW

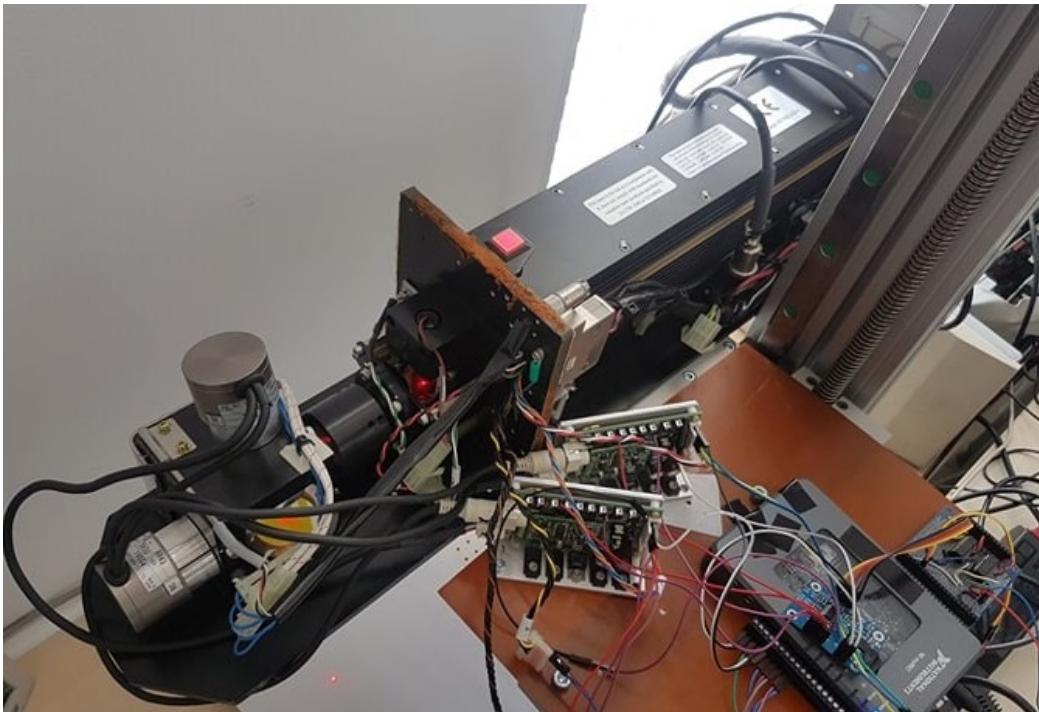
Zespołowy projekt studencki  
Wydział Fizyki UW

19 czerwca 2019

## 1 Wprowadzenie

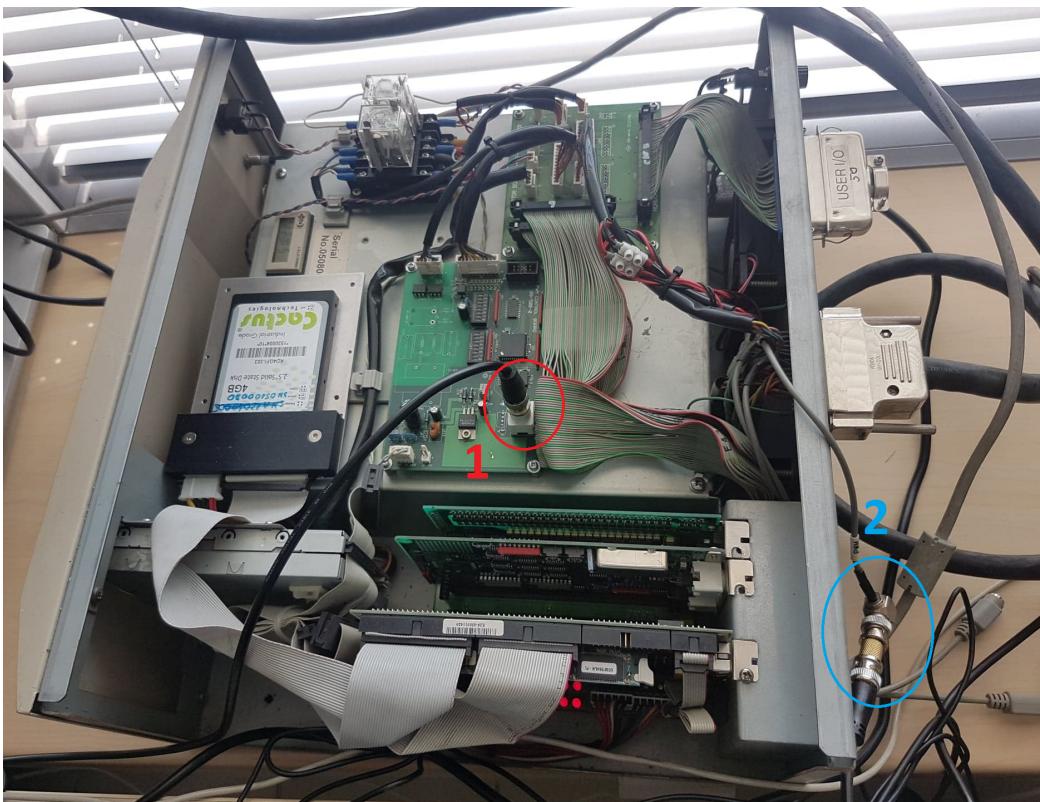
Przedmiotem projektu była budowa kontrolera do znakowarki *Horiuchi CO<sub>2</sub> Laser Marker*. Urządzenie to wykorzystywane jest do grawerowania skomplikowanych kształtów w różnych materiałach, dlatego ważne jest, aby wykonywało ono w 100 % polecenia użytkownika. W trakcie projektu zbadano i poznano zasady działania powyższej znakowarki oraz zbudowano układ elektroniczny i stworzono programy komputerowe w środowisku LabVIEW, stanowiące kontroler układu. Sprawdzono również stabilność w czasie generowanych przez znakowarkę przebiegów oraz zakres kątów pracy urządzenia. Zbudowany kontroler umożliwił niezależne testowanie głównych elementów znakowarki w celu sprawdzenia poprawności ich działania.

## 2 Budowa znakowarki



Rysunek 1: Znakowarka na stanowisku testowym.

Znakowarka składa się z dwóch części: układu sterującego oraz głowicy do grawerowania. Układ sterujący pozwala grawerować tekst lub proste kształty, zmieniać moc lasera, prędkość oraz inne parametry znakowania. Możliwości jego interfejsu są dosyć ograniczone - w przeciwieństwie do zbudowanego przez nas układu nie pozwala on na generowanie kształtów w jakikolwiek sposób wykraczających poza jego podstawowe szablony. Podczas projektu badane były między innymi sygnały wysyłane z układu sterującego do najbardziej nas interesującej głowicy. Układ z zaznaczonymi ważnymi dla nas fragmentami przedstawiono na Rysunku 2.

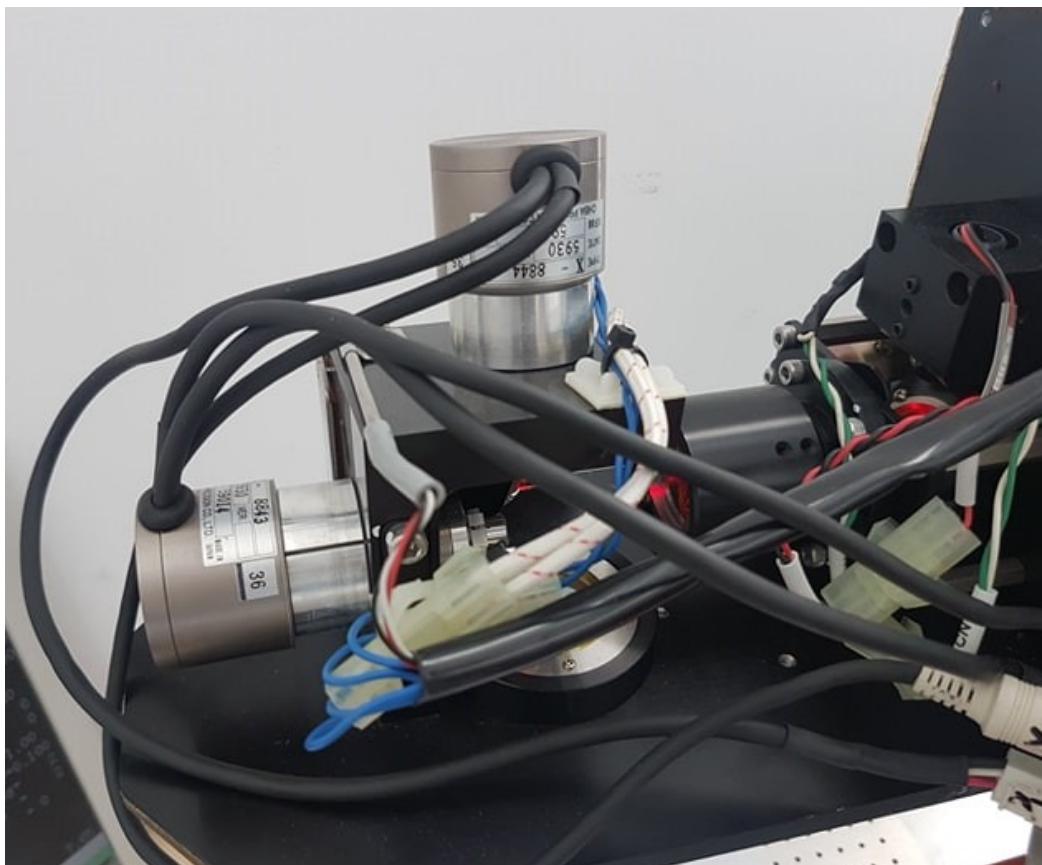


Rysunek 2: Układ sterujący znakowarką z zaznaczonymi poszczególnymi elementami. 1 to wyjście z komputera na generator sygnału PWM<sup>2</sup>, a 2 to port PWM sterujący mocą lasera, generowany przez zbudowany kontroler.

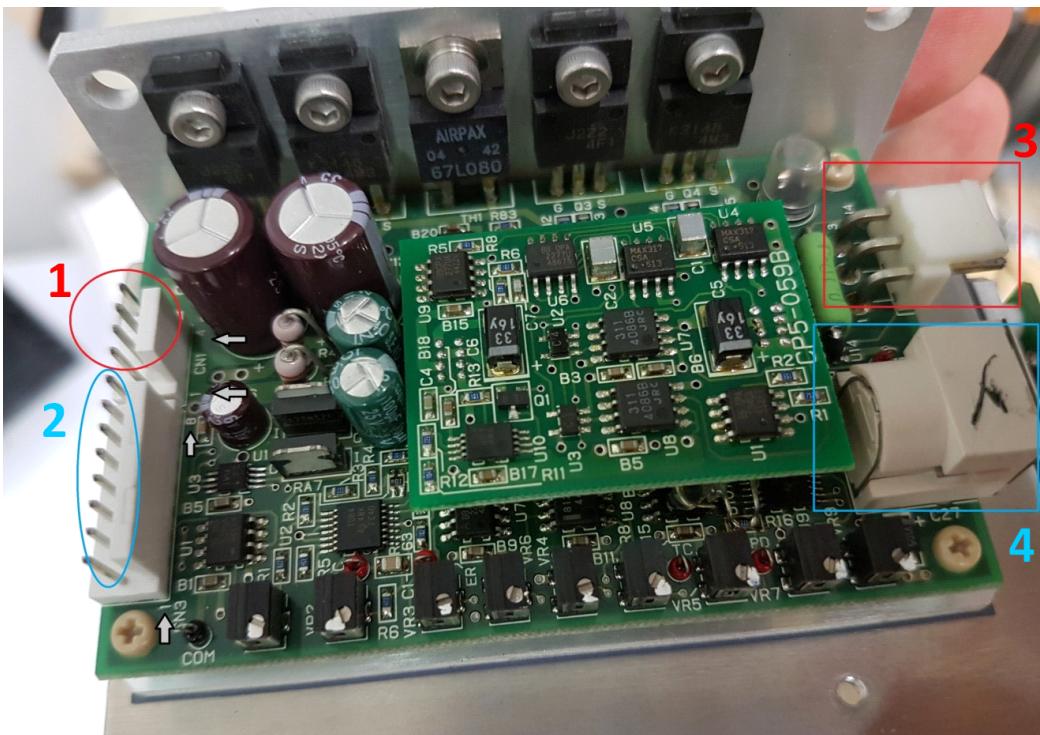
Główica składa się z lasera  $CO_2$  o mocy 10 W, markera, czyli widzialnego lasera o niewielkiej mocy, którego wiązka pokrywa się z wiązką lasera graverującego i który sygnalizuje obecne położenie wiązki, oraz układu dwóch luster, których położeniem sterują dwa małe silniki. Lustra obracają się niezależnie, jedno steruje wiązką lasera w osi x, a drugie w osi y (Rysunek 3). Zakres kątowy pracy luster oszacowano na  $27^\circ$ . Przy ustawieniu znakowarki odpowiadającym dobrze zogniskowanej wiązce, maksymalny rozmiar znakowanego kształtu wynosi około  $14 \times 14\text{cm}$ . Każde lustro wyposażone jest w kartę sterującą, która przekazuje sygnał z układu sterującego, a także posiada wyprowadzenia, na których pojawia się sygnał związany z poprawnością pracy luster 4.

---

<sup>2</sup>PWM (ang. Pulse-Width Modulation) - metoda regulacji sygnału polegająca na zmianie jego wypełnienia.



Rysunek 3: Układ luster sterujących wiązką lasera.



Rysunek 4: Karta sterująca do luster, z zaznaczonymi wyprowadzeniami. 1 - port zasilania, 2 - port sygnału sterującego, 3 - wyjście zasilania na lustro, 4 - wyjście sygnału sterującego na lustro.

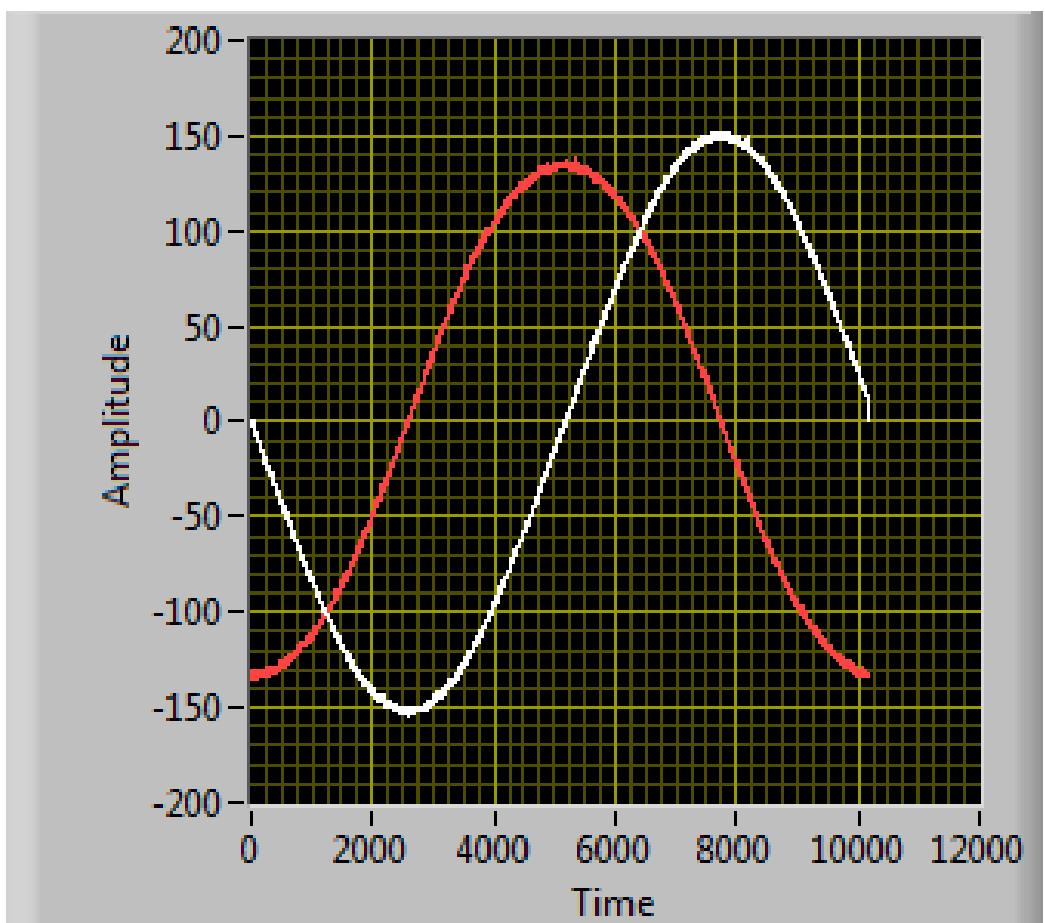
### 3 Sygnał sterujący

Z układu sterującego do głowicy wysyłane są dwa rodzaje sygnałów: sygnał PWM, sterujący mocą lasera oraz sygnał analogowy, sterujący położeniem luster. Sygnał PWM ma częstotliwość  $10\text{kHz}$ , a jego wypełnienie odpowiada używanej mocy lasera w stosunku do mocy maksymalnej. Minimalna moc, jakiej może używać laser, odpowiada 5% mocy maksymalnej. Jeśli wypełnienie jest niższe niż 5%, laser jest wyłączony.

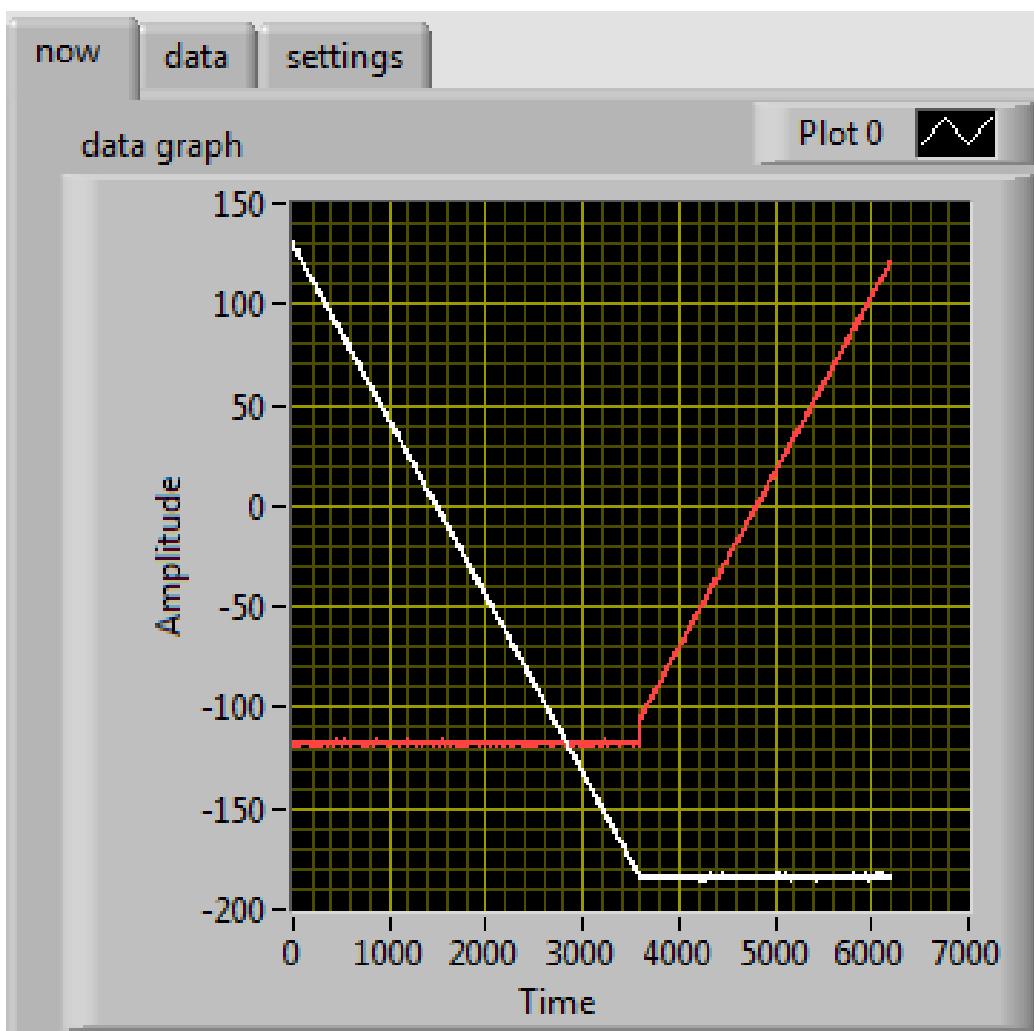
Każdym lustrem steruje sygnał analogowy w przedziale od  $-2,5$  do  $2,5V$ . Wartość napięcia w danej chwili określa wychylenie lustra z położenia równowagi. Przykładowe przebiegi sygnałów przedstawiono na rysunkach 5, 6 i 7 - kolejno przebieg PWM dla 20% wypełnienia oraz sygnały sterujące lustrami zarejestrowane w omówionym w dalszej części raportu programie *scope*, które odpowiadają grawerowaniu liter O i L.



Rysunek 5: Przykładowy przebieg sygnału PWM, odpowiadający mocy la-sera 20%.



Rysunek 6: Przykładowy przebieg sygnału analogowego wysyłanego do luster, odpowiadający znakowaniu litery O. Biały - sygnał wysyłany na lustro x. Czerwony - na lustro y. Wychylenie luster jest wprost proporcjonalne do amplitudy sygnału. Na wykresie widać dwie funkcje sinus przesunięte względem siebie, co odpowiada kształtowi zbliżonemu do okręgu.



Rysunek 7: Przykładowy przebieg sygnału analogowego wysyłanego do luster, odpowiadający znakowaniu litery L. Biały - sygnał wysyłany na lustro x. Czerwony - na lustro y. Na wykresie wyraźnie widać, że generowane są dwie prostopadłe do siebie linie.

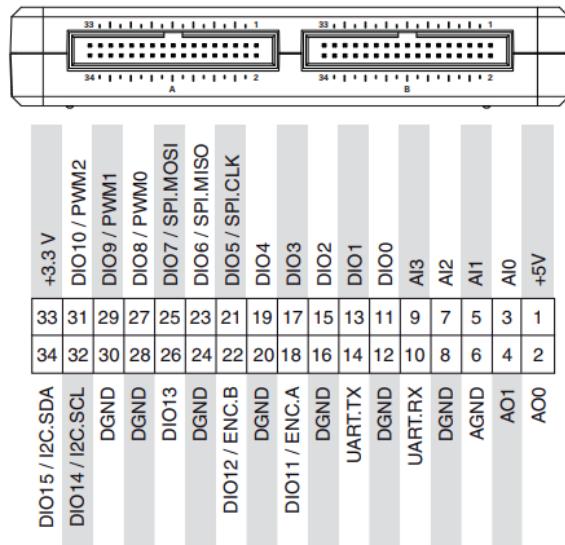
## 4 Budowa kontrolera

Kontrola pracy znakowarki odbywa się na dwóch etapach:

1. Kontrola poprawności sygnału z układu sterującego.
2. Generacja własnego sygnału sterującego i badanie sygnału zwrotnego z kart sterujących lustrami.

Funkcję kontrolera pracy znakowarki pełni karta myRio firmy National Instruments, której najważniejszymi elementami są mikroprocesor i układ FPGA (ang. Field-Programmable Gate Array) - układ logiczny o funkcjonalności podobnej do wyspecjalizowanych układów scalonych, mogący jednak być wielokrotnie przeprogramowywany bez demontażu. Karta myRio idealnie spełnia pożądane przez nas funkcje, to jest szybkiego i dokładnego oscyloskopu oraz generatora. Na rysunkach 8 i 9 zamieszczono schematy podłączeń wykorzystywanej karty myRio.

**Figure 3.** Primary/Secondary Signals on MXP Connectors A and B

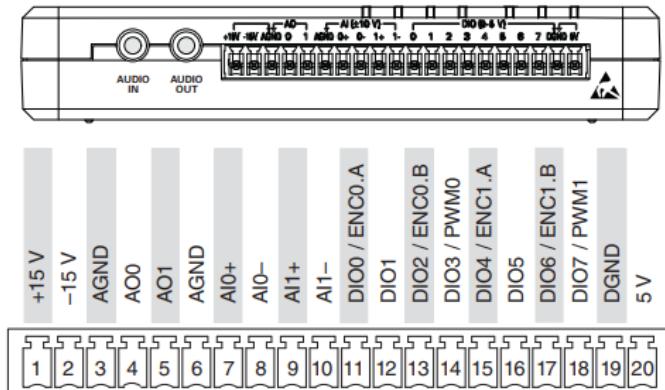


**Table 1.** Descriptions of Signals on MXP Connectors A and B

Signal Name	Reference	Direction	Description
+5V	DGND	Output	+5 V power output.
AI <0..3>	AGND	Input	0-5 V, referenced, single-ended analog input channels. Refer to the <a href="#">Analog Input Channels</a> section for more information.
AO <0..1>	AGND	Output	0-5 V referenced, single-ended analog output. Refer to the <a href="#">Analog Output Channels</a> section for more information.
AGND	N/A	N/A	Reference for analog input and output.
+3.3V	DGND	Output	+3.3 V power output.
DIO <0..15>	DGND	Input or Output	General-purpose digital lines with 3.3 V output, 3.3 V/5 V-compatible input. Refer to the <a href="#">DIO Lines</a> section for more information.
UART.RX	DGND	Input	UART receive input. UART lines are electrically identical to DIO lines.
UART.TX	DGND	Output	UART transmit output. UART lines are electrically identical to DIO lines.
DGND	N/A	N/A	Reference for digital signals, +5 V, and +3.3 V.

Rysunek 8: Schemat karty myRio z zaznaczonymi wyprowadzeniami[1].

**Figure 4.** Primary/Secondary Signals on MSP Connector C



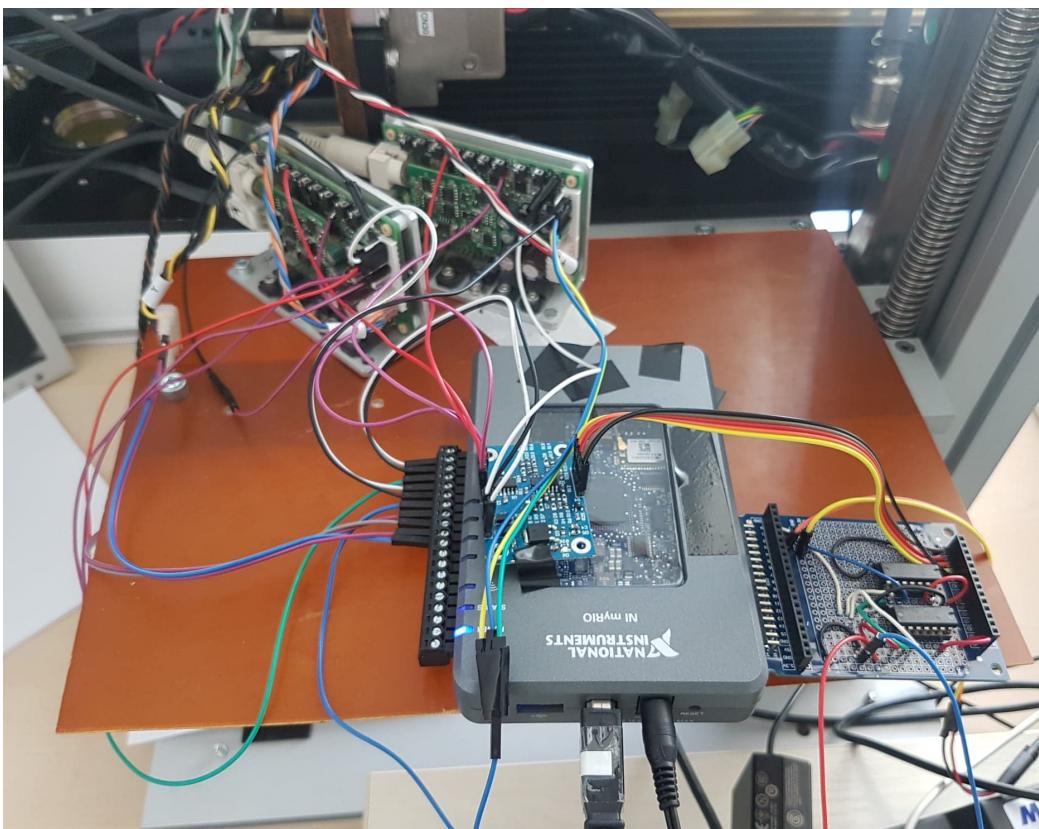
**Table 2.** Descriptions of Signals on MSP Connector C

Signal Name	Reference	Direction	Description
+15V/-15V	AGND	Output	+15 V/-15 V power output.
AI0+/AI0-; AI1+/AI1-	AGND	Input	±10 V, differential analog input channels. Refer to the <a href="#">Analog Input Channels</a> section for more information.
AO <0..1>	AGND	Output	±10 V referenced, single-ended analog output channels. Refer to the <a href="#">Analog Output Channels</a> section for more information.
AGND	N/A	N/A	Reference for analog input and output and +15 V/-15 V power output.
+5V	DGND	Output	+5 V power output.
DIO <0..7>	DGND	Input or Output	General-purpose digital lines with 3.3 V output, 3.3 V/5 V-compatible input. Refer to the <a href="#">DIO Lines</a> section for more information.
DGND	N/A	N/A	Reference for digital lines and +5 V power output.

Rysunek 9: Schemat karty myRio z zaznaczonymi wyprowadzeniami.

Żeby kontrolować poprawność sygnału z układu sterującego, podłączamy kartę do sygnału PWM i sygnału sterującego lustrami. Sygnału PWM używamy jako triggera, kiedy pojawi się na nim wypełnienie większe niż 5 %, rozpoczynamy zbieranie sygnałów sterujących lustrami.

W drugiej części kontroli pracy, podłączamy kartę do wejść luster i generujemy sygnał, jednocześnie zbierając dane z wyjść kart sterujących, na których pojawia się napięcie odpowiadające części sygnału, której lustrom nie udało się wykonać. Poprawność działania luster możemy sprawdzać na dwa sposoby: po prostu generując dowolnie zadany kształt i czekając na ewentualne pojawienie się błędów lub zadając sygnał zawierający jakiś rodzaj przeskok, którego lustra nie są w stanie wykonać natychmiast i sprawdzając, czy za każdym razem sygnał błędu ma tę samą postać.

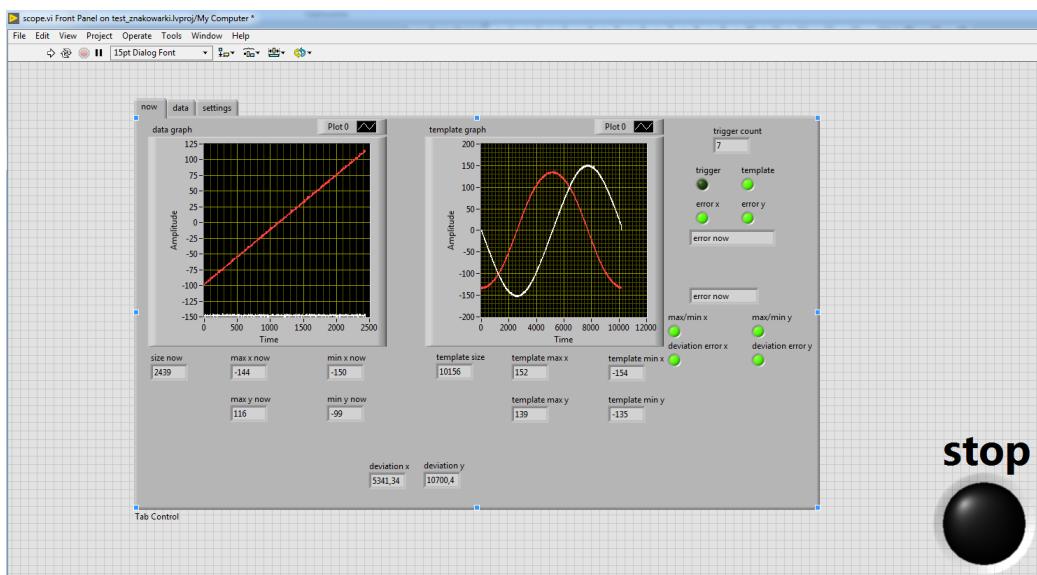


Rysunek 10: Karta myRio podłączona do układu sterującego pracę znakowarki.

## 5 Interfejs kontrolera

Na software kontrolera składają się trzy napisane w ramach projektu programy: *scope* odczytujący sygnały z układu sterującego i badający ich poprawność, *gen* przekazujący do znakowania zadany mu kształt i *error checker* sprawdzający sygnały błędów z luster.

### 5.1 Scope



Rysunek 11: Interfejs programu *scope*.

Program *scope* bada poprawność układu sterującego. Porównuje przebieg sygnałów z obu luster do ustawionego szablonu (szablon można ustawić ręcznie lub pozwolić, aby był nim pierwszy przebieg pracy znakowarki, jeśli wiele razy znakuje się to samo) i w przypadku niezgodności, wyświetla informację o błędzie i zapisuje niepoprawny przebieg. Porównywanie odbywa się na dwa sposoby: poprzez sprawdzenie czy minimum i maksimum napięcia w przebiegu mają te same wartości oraz poprzez obliczanie średniego odchylenia kwadratowego przebiegu od szablonu. Jako że zbieranie danych nie odbywa się w sposób ciągły, a jedynie kiedy laser jest włączony (sygnał PWM ma odpowiednie wypełnienie), trigger może wyzwolić się w nieco różnych momentach, więc przy obliczaniu średniego odchylenia, przebieg zmierzony i szablonowy są wielokrotnie względem siebie przesuwane, a następnie brane jest minimum z otrzymanych wartości.

*Scope* jest najdokładniejszym z programów kontrolujących, przy dobrej pracy znakowarki odchylenia w jego pomiarach nie przekraczają 2-3 % przy pomiarach minimum i maksimum oraz 1 jednostki przy pomiarach średniego odchylenia (karta myRio przelicza napięcia na własne jednostki; sposób przeliczania przedstawiony jest na Rysunku 12).

## Converting Raw Data Values to Voltage

---

You can use the following equations to convert raw data values to volts:

$$V = \text{Raw Data Value} * \text{LSB Weight}$$

$$\text{LSB Weight} = \text{Nominal Range} \div 2^{\text{ADC Resolution}}$$

where *Raw Data Value* is the value returned by the FPGA I/O Node,

*LSB Weight* is the value in volts of the increment between data values,

*Nominal Range* is the absolute value in volts of the full, peak-to-peak nominal range of the channel,

and *ADC Resolution* is the resolution of the ADC in bits. (*ADC Resolution* = 12)

- For AI and AO channels on the MXP connectors,

$$\text{LSB Weight} = 5 \text{ V} \div 2^{12} = 1.221 \text{ mV}$$

$$\text{Maximum reading} = 4095 * 1.221 \text{ mV} = 4.999 \text{ V}$$

- For AI and AO channels on the MSP connectors,

$$\text{LSB Weight} = 20 \text{ V} \div 2^{12} = 4.883 \text{ mV}$$

$$\text{Maximum Positive Reading} = +2047 * 4.883 \text{ mV} = 9.995 \text{ V}$$

$$\text{Maximum Negative Reading} = -2048 * 4.883 \text{ mV} = -10.000 \text{ V}$$

- For Audio In/Out,

$$\text{LSB Weight} = 5 \text{ V} \div 2^{12} = 1.221 \text{ mV}$$

$$\text{Maximum Positive Reading} = +2047 * 1.221 \text{ mV} = 2.499 \text{ V}$$

$$\text{Maximum Negative Reading} = -2048 * 1.221 \text{ mV} = -2.500 \text{ V}$$

- For the accelerometer,

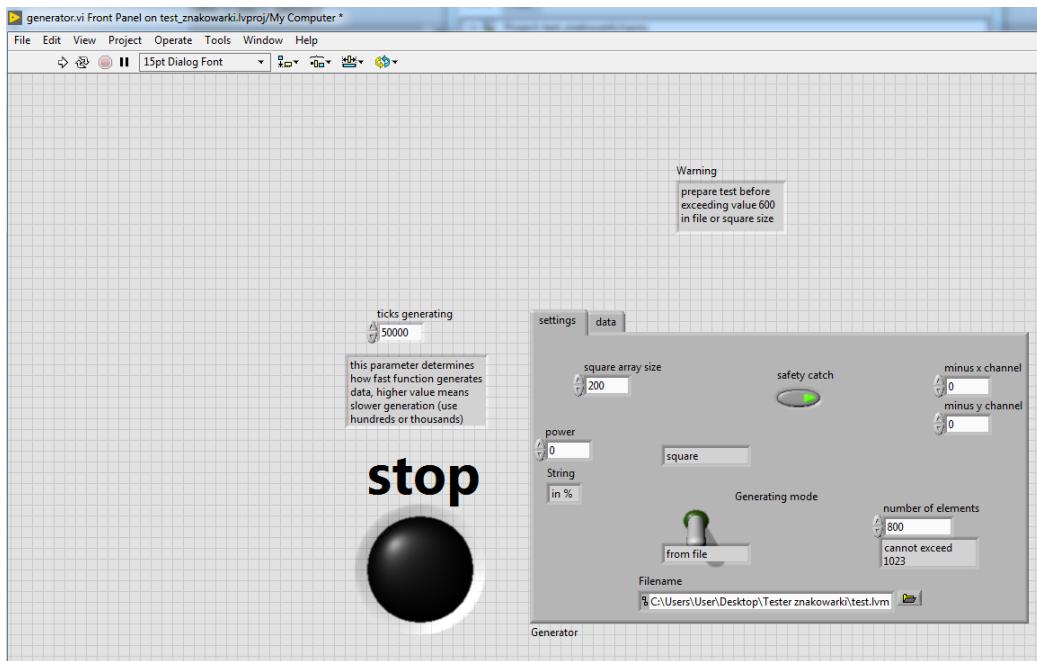
$$\text{LSB Weight} = 16 \text{ g} \div 2^{12} = 3.906 \text{ mg}$$

$$\text{Maximum Positive Reading} = +2047 * 3.906 \text{ mg} = +7.996 \text{ g}$$

$$\text{Maximum Negative Reading} = -2048 * 3.906 \text{ mg} = -8.000 \text{ g}$$

Rysunek 12: Sposób przeliczania napięcia na jednostki karty myRio.

## 5.2 Gen



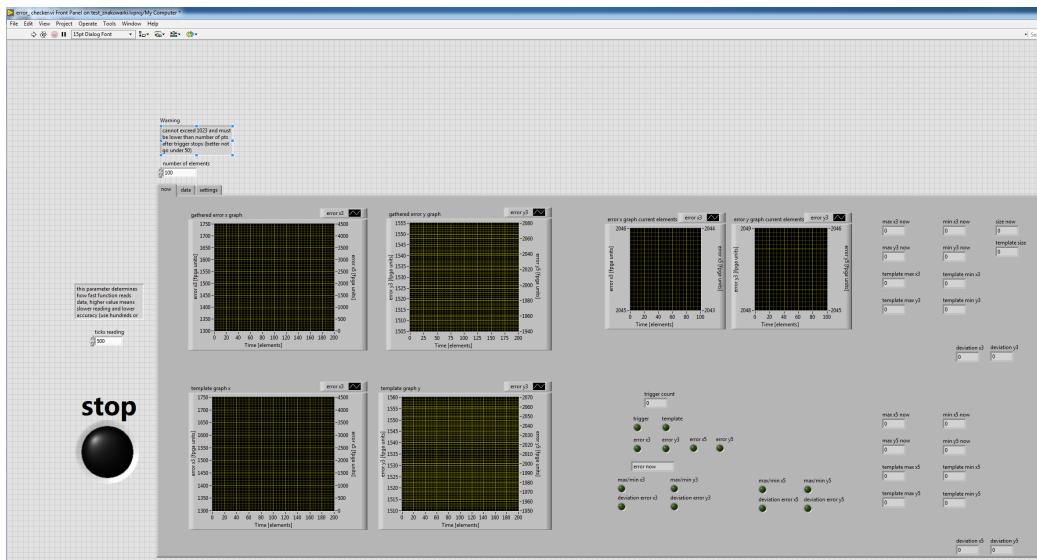
Rysunek 13: Interfejs programu *gen*.

Program *gen* pozwala grawerować dowolny kształt z zadaną przez użytkownika mocą. Poza załączonymi do programu szablonami do kilku podstawowych kształtów, użytkownik w łatwy sposób może przekonwertować dowolny (aczkolwiek niezbyt skomplikowany) obrazek na zrozumiałą dla programu macierz kolejnych położen luster. Wystarczy użyć darmowego programu do przekonwertowania obrazka na macierz położień pikseli, a następnie użyć dołączonego skryptu do posortowania ich w odpowiedniej kolejności *sort*. Przykładowy efekt grawerowania obrazka tą metodą przedstawiono na Rysunku 14.



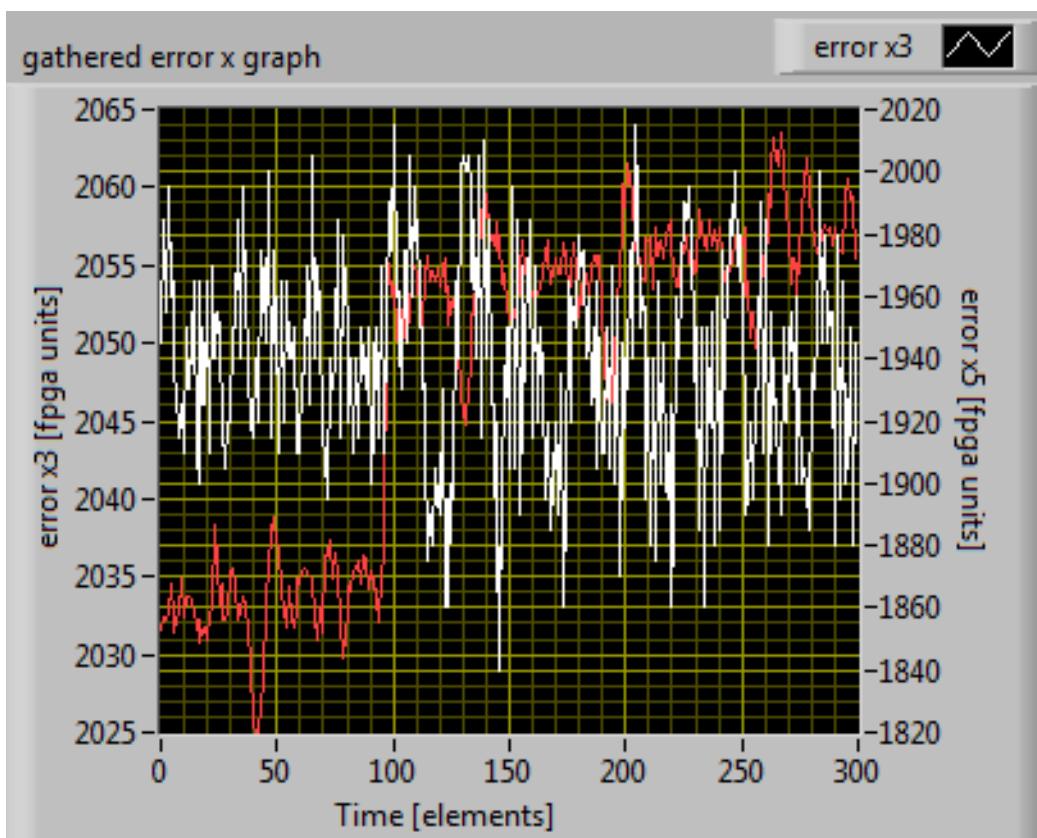
Rysunek 14: Przykładowy obrazek, zamieniony na macierz pikseli, posortowany, a następnie wygrawerowany.

### 5.3 Error checker

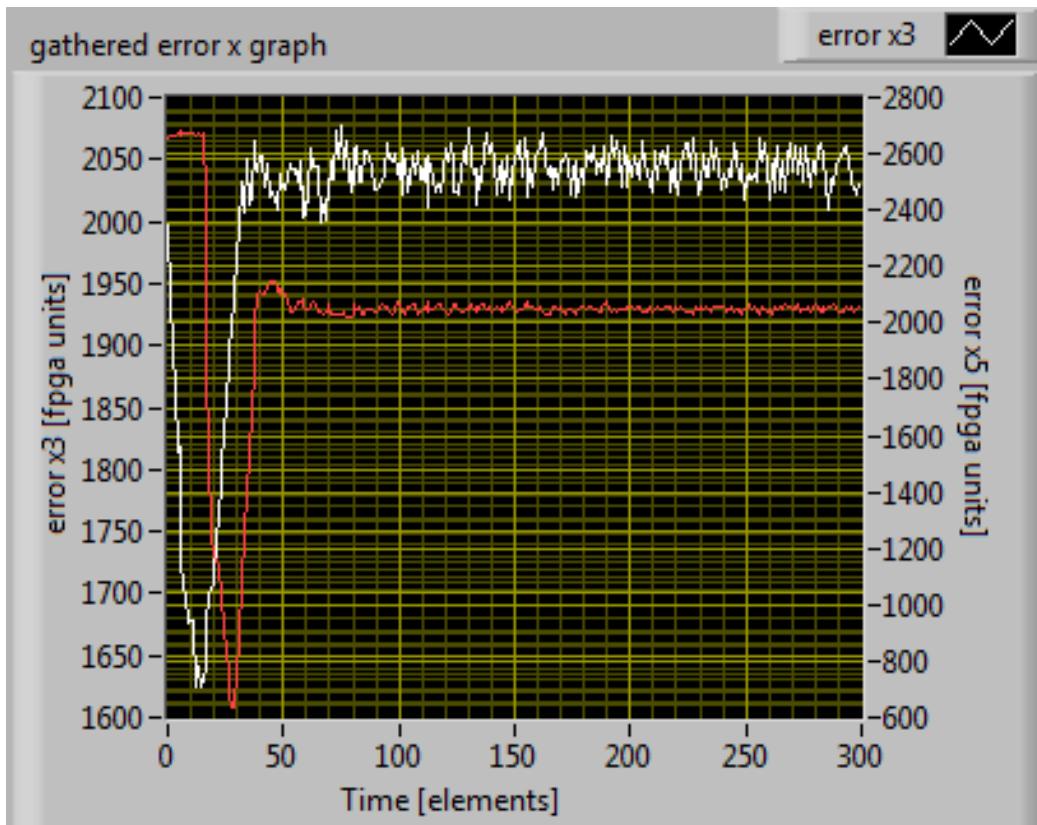


Rysunek 15: Interfejs programu *error checker*.

W związku z tym, że sygnał błędów z kart sterujących jest dosyć zaszu-miony, co wynika ze specyfikacji podłączeń w miejscu jego występowania, *error checker* nie jest bardzo dokładny, ale nadal może znaleźć zastosowanie. W pierwszym trybie jego działania, czyli przy generowaniu zadanego kształtu i czekaniu na jakikolwiek sygnał o błędach, po prostu czekamy, aż sygnał przekroczy ustawiony próg. Przykładowy sygnał błędu po lekkim szturchnięciu lustra w trakcie znakowania, przedstawiono na Rysunku 16. W drugim trybie, kiedy generujemy nagły przeskok w pracy lustra, sygnał powinien wyglądać jak na Rysunku 17. Dobra powtarzalność otrzymywanej przebiegu sygnału świadczy o poprawnej pracy lustra, jeśli jednak pojawiają się odchylenia - jest to ważna informacja, że układ działa błędnie.



Rysunek 16: Sygnał z kart sterujących zarejestrowany w programie *error checker* w sytuacji szturchnięcia luster. Wyraźnie widać skok napięcia na kanale wyzwalającym (czerwonym), podczas gdy na drugim kanale nie ma znaczących zmian. Skok spowodowany jest różnicą pomiędzy sygnałem wykonanym przez lustro a tym pochodząącym z układu sterującego.



Rysunek 17: Sygnał z kart sterujących zarejestrowany w programie *error checker* gdy generowany jest celowy nagły przeskok lustra. Duży skok napięcia na obu kanałach jest spowodowany znaczną różnicą między sygnałem sterującym a wykonanym i jest rezultatem bezwładności luster. Sygnał ten przy poprawnej pracy luster jest bardzo powtarzalny.

## 6 Podsumowanie

Zbudowany kontroler pracy znakowarki w większości spełnia założenia projektu. Bardzo dobrze działa część odpowiadająca za sprawdzanie układu sterującego - jest w stanie z dużą dokładnością kontrolować pracę nawet przy generowaniu kilkudziesięciu kształtów na sekundę. Niestety w związku z dużymi zakłóceniami sygnałów, nieco gorzej działa część sprawdzająca samą głowicę lasera i pracę luster. Wydaje się jednak, że nadal wystarczy do wykrycia wyraźnie błędnej pracy układu.

## **Literatura**

[1] myRio User Guide and Specification