



Lodz University of Technology
Department of Automation, Biomechanics and Mechatronics



Konwerter sygnału enkodera inkrementalnego na sygnał analogowy i jego zastosowanie w układzie z wahadłem magnetycznym



Dariusz Grzelczyk
dariusz.grzelczyk@p.lodz.pl



Plan prezentacji

- ❖ Motywacja
- ❖ Budowa układu elektronicznego do stanowiska badawczego
- ❖ Badania doświadczalne
- ❖ Zastosowanie zbudowanego konwertera do wahadła magnetycznego

Model **PM-B-05-0D-T-10** firmy HIWIN



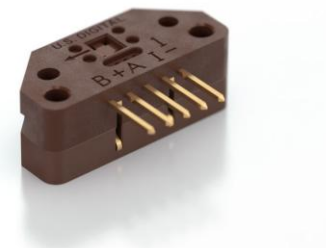
Kolor przewodu głowicy odczytującej	Wtyczka okrągła, nr styku	Sygnal
brązowy	4 i 5	Zasilanie 5 V
biały	12 i 13	GND / 0 V
zielony	9	V1+ / A
żółty	1	V1- / \bar{A}
niebieski	10	V2+ / B
czerwony	2	V2- / \bar{B}
fioletowy	3	Ref+ / Z
szary	11	Ref- / \bar{Z}
	Obudowa wtyku	Ekran

Model **E40H12-1000-6-L-5** firmy Autonics



Przewód	Funkcja sygnału	Opis działania
Brązowy	+5 VDC	Zasilanie enkodera
Niebieski	0 V (GND)	Masa zasilania i sygnałów
Czarny	A	Kanał A (sygnał główny)
Biały	\bar{A} (A-bar)	Kanał A w wersji odwróconej (różnicowy)
Pomarańczowy	B	Kanał B
Żółty	\bar{B} (B-bar)	Kanał B odwrócony
Zielony	Z	Impuls zerowy (index)
Czerwony	\bar{Z} (Z-bar)	Impuls zerowy odwrócony

Model **EM2-2-10000-I + HUBDISK-2-10000-315-IE** firmy US Digital Corporation



Krótki przegląd kart pomiarowych National Instruments z wejściami licznikowymi, z uwzględnieniem liczby dostępnych liczników sprzętowych

Trzy najważniejsze modele z wejściami licznikowymi NI: (wyraźnie opisane funkcje licznikowe/wyraźnie określona funkcjonalność licznikowa)

- NI-9361 – moduł C Series (8 kanałów licznikowych) - **6270,24 zł FARNELL**
- NI 782351-01 – karta PCIe dedykowana do liczników/timerów (brak danych na temat liczby wejść licznikowych) **9166,17 zł DIGIKEY**
- NI 778834-01 – karta PCI dedykowana do liczników/timerów (brak danych na temat lic wejść licznikowych) – **18206,28 zł DIGIKEY**



NI-9361 (C Series)

★ –
zł6,270.24

Best for multi-channel counting

8

C Series

Systemy CompactDAQ/CompactRIO

Wejścia licznikowe (8ch)

NI 782351-01 (PCIe)

★ –
zł9,166.17

Best for high-speed PCIe counting

Brak danych (dedykowana karta counter/timer)

PCIe

Komputery stacjonarne PCIe

Counter/Timer device

NI 778834-01 (PCI)

★ –
zł18,206.28

Best for legacy PCI systems

Brak danych (dedykowana karta counter/timer)

PCI

Komputery stacjonarne PCI

Counter/Timer device

PODSUMOWANIE:

Najwięcej kanałów licznikowych – NI-9361

- 8 niezależnych wejść licznikowych
- Dobry wybór, jeśli potrzeba wielu kanałów licznikowych w jednym module

NI 782351-01 i NI 778834-01

- Oznaczone jako **DAQ DEVICE COUNTER/TIMER**, sprzedawcy nie podają liczby kanałów
- Specjalistyczne karty PCI/PCIe do zadań czasowo-licznikowych
- Na podstawie typowych kart NI z tej serii można spodziewać się **2-4 kanałów**.

Model E40H12-1000-6-L-5 firmy Autonics



Sygnal	Kolor przewodu
A	Czarny
\bar{A}	Brązowy
B	Czerwony
\bar{B}	Pomarańczowy
Z	Żółty
\bar{Z}	Zielony
+5V	Niebieski
GND	Fioletowy

Zakłócenia przemysłowe:

- silniki indukcyjne
- długie przewody
- falowniki
- ...

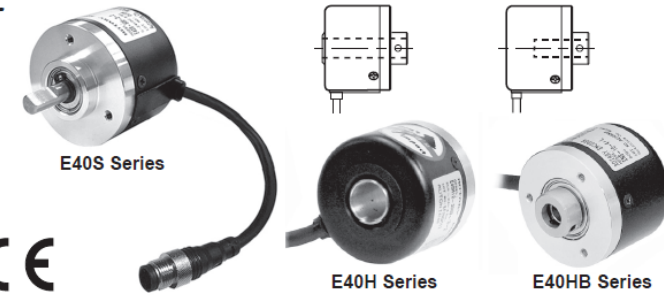
E40 Series

Shaft Type/Hollow Shaft Type/Blind Hollow Shaft Type Ø40mm Incremental Rotary Encoder

Features

- Easy installation at narrow space
- Low moment of inertia
- Power supply: 5VDC, 12-24VDC $\pm 5\%$
- Various output types

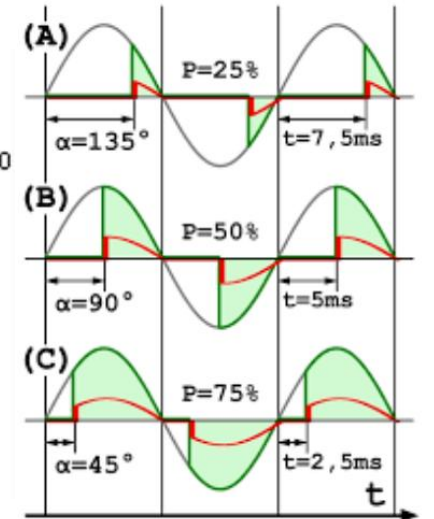
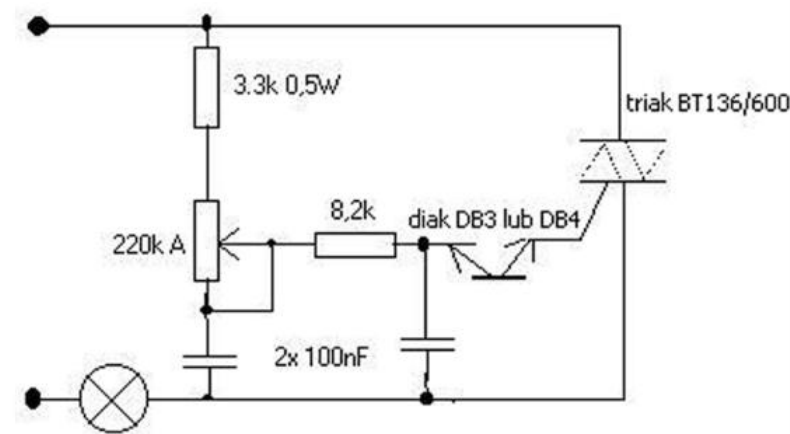
⚠ Please read "Caution for your safety" in operation manual before using.



Ordering Information

E40 **H** **8** **5000** **3** **N** **24**

Series	Shaft type	Hollow type	Pulses/revolution	Output phase	Control output	Power supply	Cable
Ø40mm	External	Inner	Refer to resolution	2: A, B 3: A, B, Z 4: A, \bar{A} , B, \bar{B} 6: A, \bar{A} , B, \bar{B} , Z, \bar{Z}	T: Totem pole output N: NPN open collector output V: Voltage output L: Line driver output	5: 5VDC $\pm 5\%$ 24: 12-24VDC $\pm 5\%$	No mark: Radial cable type C: Radial cable connector type
S: Shaft type	6: Ø6mm	6: Ø6mm					
H: Hollow shaft type	8: Ø8mm	8: Ø8mm					
HB: Blind hollow shaft type	8: Ø8mm	10: Ø10mm 12: Ø12mm					



Stanowisko badawcze:

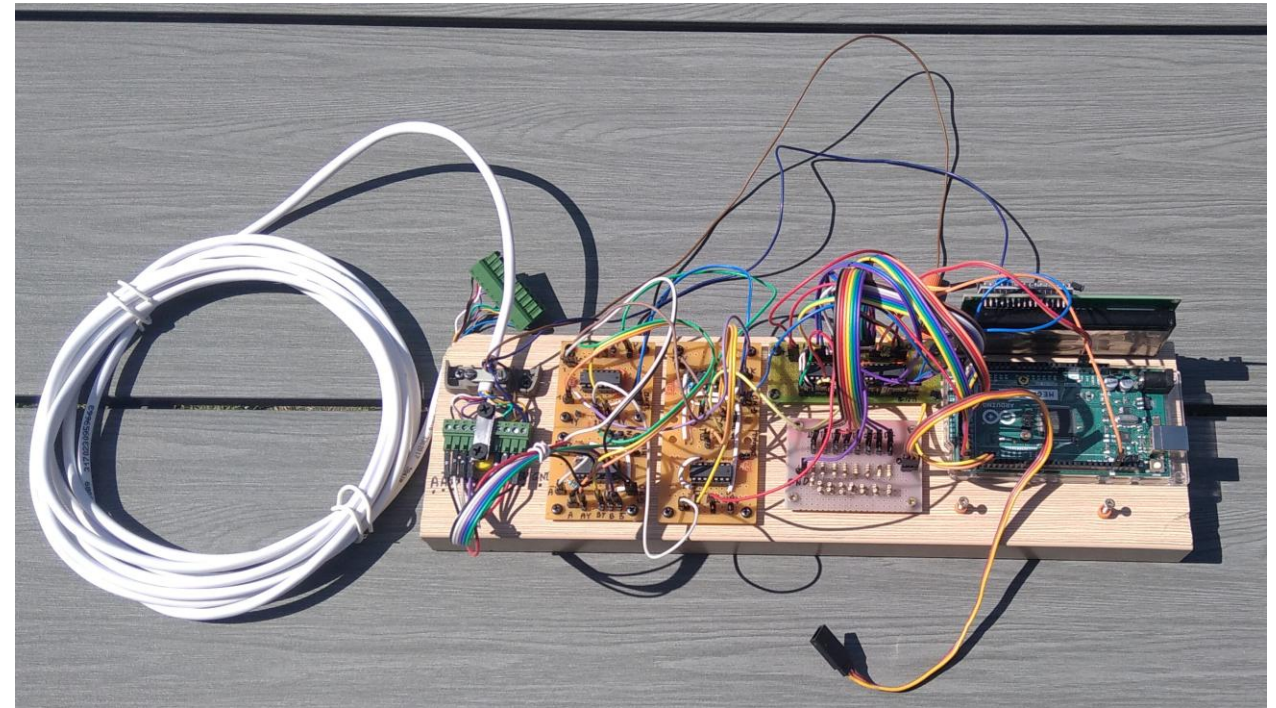
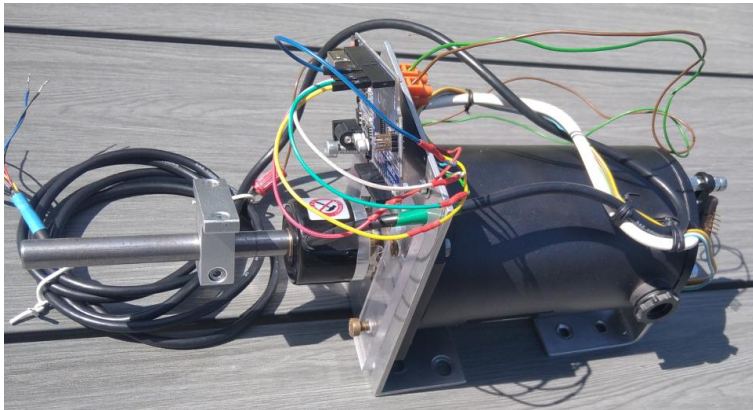


Sygnal	Kolor przewodu
A	Czarny
\bar{A}	Brązowy
B	Czerwony
\bar{B}	Pomarańczowy
Z	Żółty
\bar{Z}	Zielony
+5V	Niebieski
GND	Fioletowy

Enkoder E40H12-1000-6-L-5 posiada tzw. nadajnik linii (ang. line driver) RS-422, który generuje sygnały różnicowe dla każdej fazy: A/ \bar{A} , B/ \bar{B} oraz Z/ \bar{Z} .

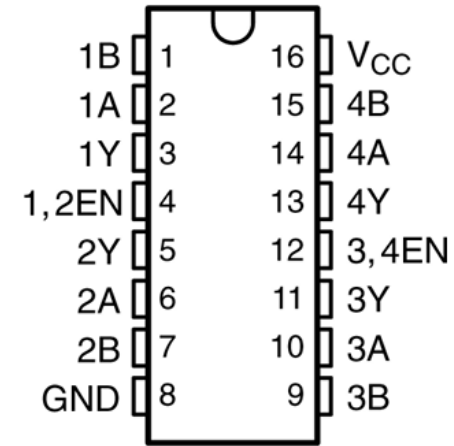
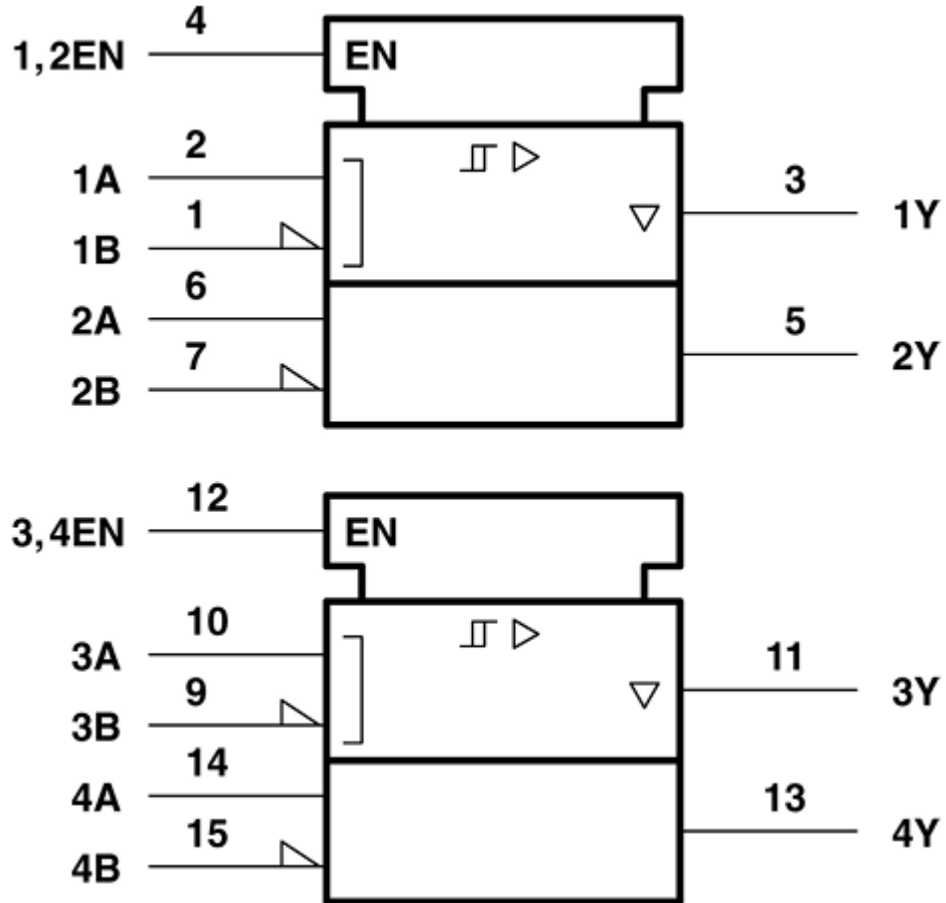
•Zalety:

zwiększa odporność na zakłócenia elektromagnetyczne (kluczowe w maszynach i automatyce), umożliwia transmisję na większe odległości (do kilkudziesięciu metrów), zapewnia wysoką częstotliwość pracy



SN75175 Quadruple Differential Line Receivers

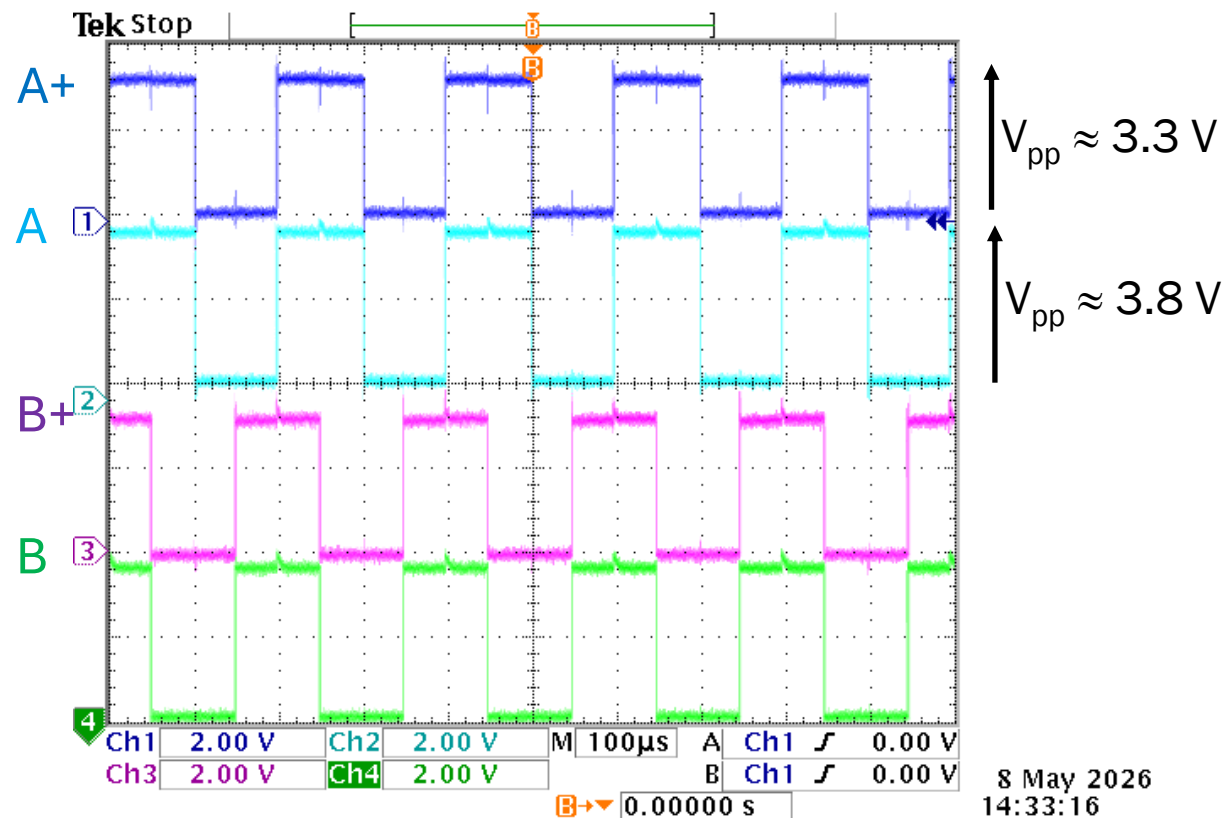
Odbiornik linii – Logic Symbol:



PIN		TYPE ⁽¹⁾	DESCRIPTION
NAME	NO.		
1B	1	I	Channel 1 Differential Receiver Inverting Input
1A	2	I	Channel 1 Differential Receiver Non-Inverting Input
1Y	3	O	Channel 1 Single Ended Output
1,2EN	4	I	Active High Enable for Channels 1 and 2
2Y	5	O	Channel 2 Single Ended Output
2A	6	I	Channel 2 Differential Receiver Non-Inverting Input
2B	7	I	Channel 2 Differential Receiver Inverting Input
GND	8	GND	Device GND
3B	9	I	Channel 3 Differential Receiver Inverting Input
3A	10	I	Channel 3 Differential Receiver Non-Inverting Input
3Y	11	O	Channel 3 Single Ended Output
3,4EN	12	I	Active High Enable for Channels 3 and 4
4Y	13	O	Channel 4 Single Ended Output
4A	14	I	Channel 4 Differential Receiver Non-Inverting Input
4B	15	I	Channel 4 Differential Receiver Inverting Input
V _{CC}	16	PWR	Device V _{CC} (4.75 V to 5.25 V)

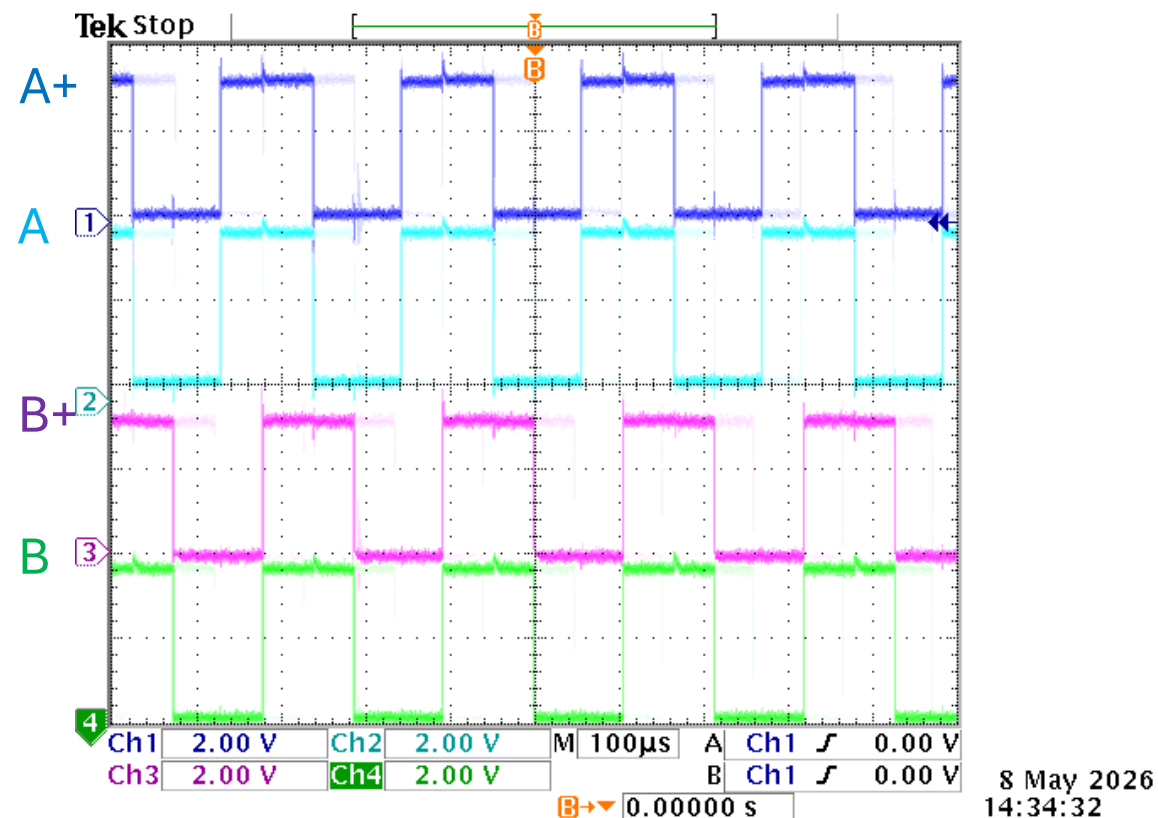
(1) Signal Types: I = Input, O = Output, I/O = Input or Output.

Odbiornik linii SN75175N – działanie



Obrót w prawo

HC (High-Speed CMOS) – podrodzina układów logicznych 74xx wykonana w technologii **HCMOS** łącząca niskie zużycie energii typowe dla CMOS.



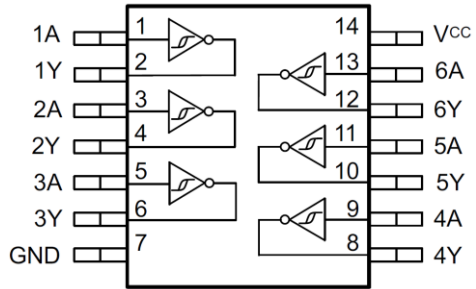
Obrót w lewo

HCT (High-Speed CMOS TTL-compatible) – szybka technologia CMOS z poziomami logicznymi zgodnymi z TTL. Odmiana rodziny HC, ale zaprojektowana tak, aby wejścia akceptowały niższe poziomy logiczne TTL

Bramki Schmitta - służą do oczyszczania, stabilizowania i kształtowania sygnałów, w szczególności powolnych, zaszumionych lub o niepewnych poziomach logicznych.



SN74HC14N



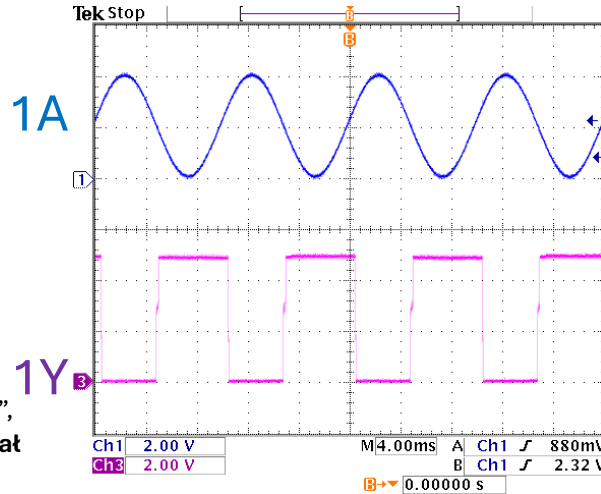
Funkcje:

Stabilizacja sygnałów (zamienia „miękki”, powoli narastający sygnał na **czysty sygnał prostokątny**)

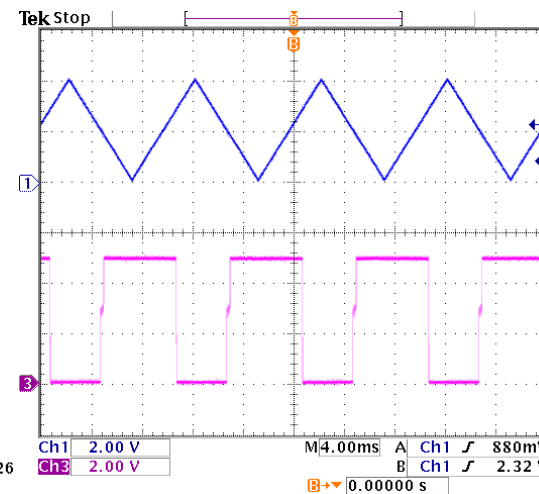
Eliminacja drgań styków (usuwa wielokrotne impulsy powstające przy mechanicznym odbijaniu styków)

Filtracja zakłóceń (dzięki histerezie bramka ignoruje krótkie zakłócenia i przetacza się tylko wtedy, gdy sygnał naprawdę przekroczy określony próg)

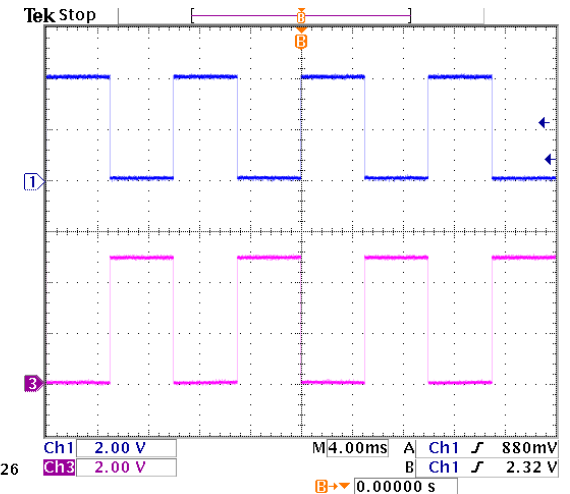
Regeneracja sygnału (ma **histerezę**, czyli dwa różne progi przełączania: wyższy próg dla przejścia z 0 → 1, niższy próg dla przejścia z 1 → 0). Dzięki temu nie reaguje na drobne wahania napięcia — przetacza się dopiero wtedy, gdy sygnał naprawdę „przeskoczy” próg



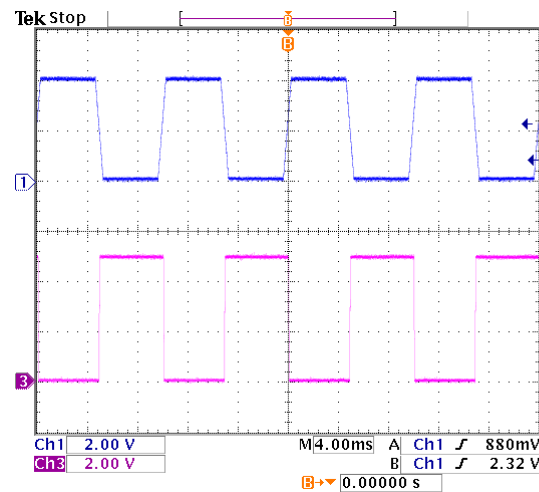
8 May 2026 19:17:31



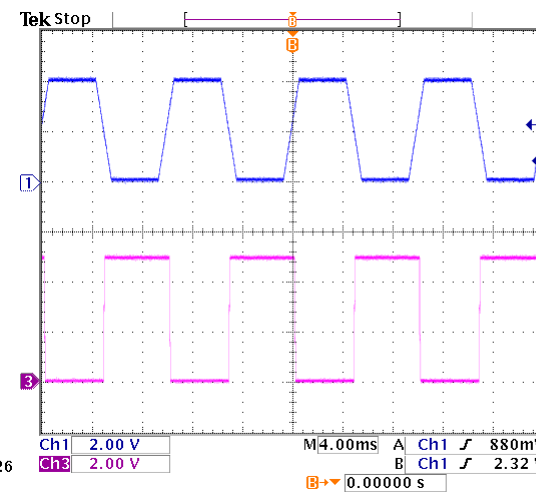
8 May 2026 19:16:47



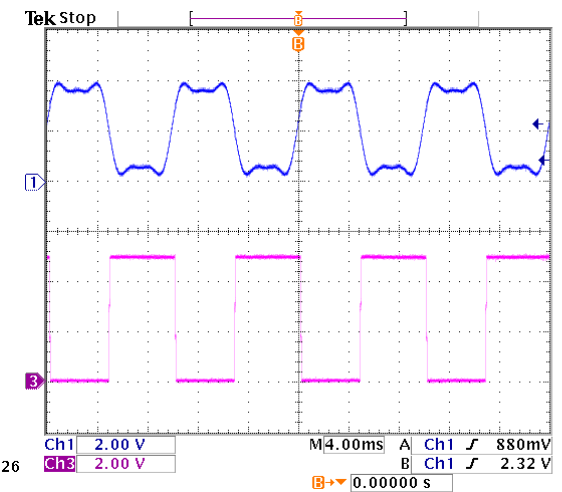
8 May 2026 19:15:55



8 May 2026 19:15:13

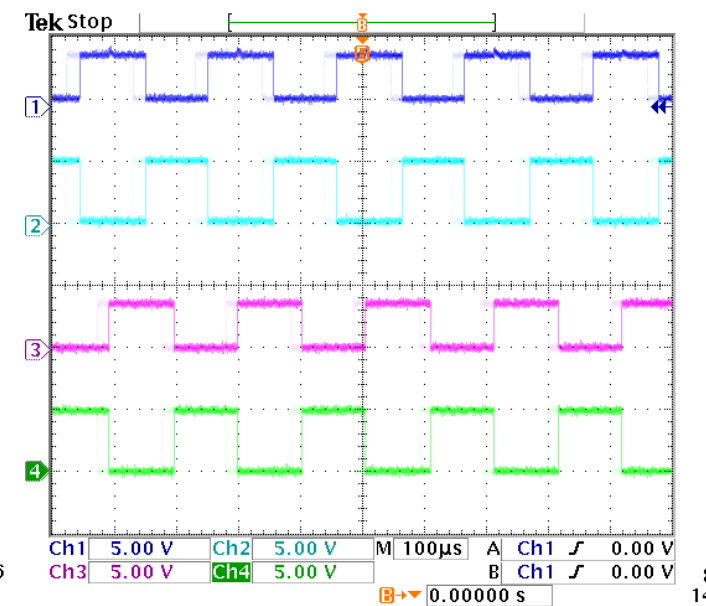
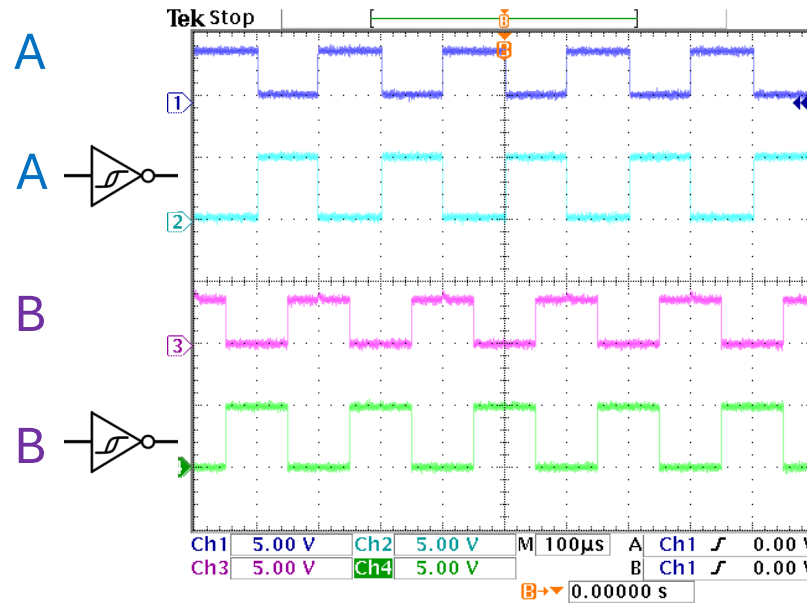
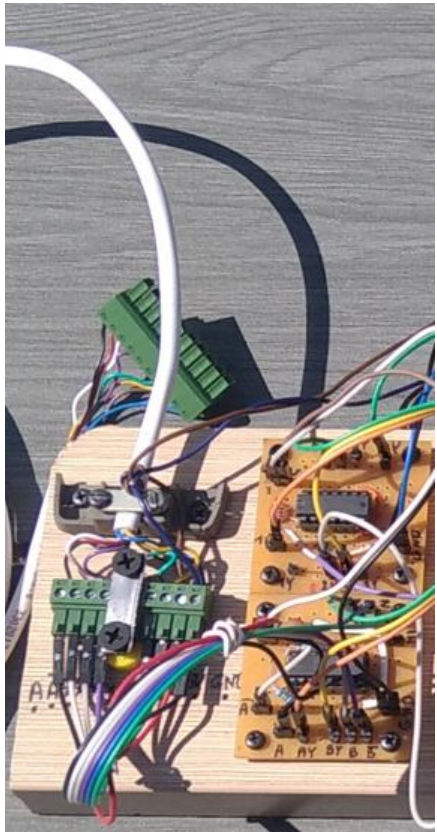
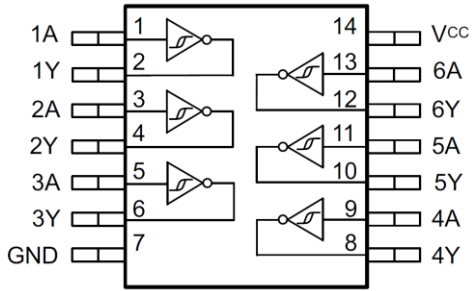


8 May 2026 19:14:46



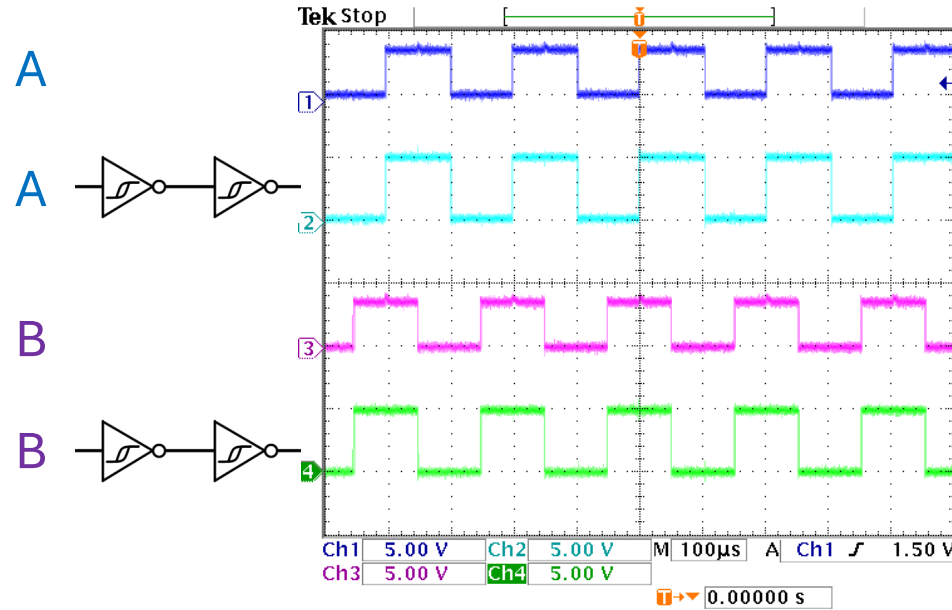
8 May 2026 19:13:27

SN74HC14N

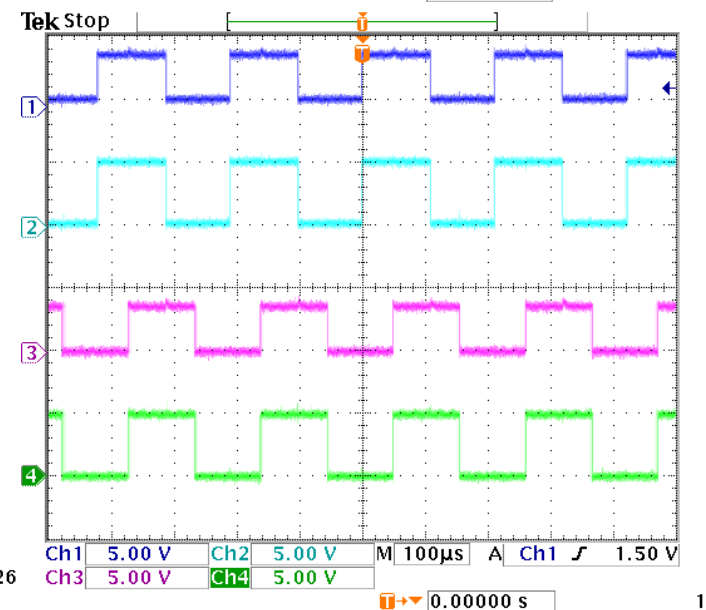


8 May 2026
14:48:39

8 May 2026
14:49:54



8 May 2026
14:52:36

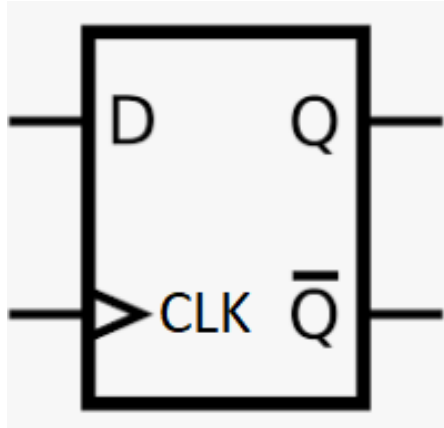


8 May 2026
14:53:31

Obrót w prawo

Obrót w lewo

Przerzutnik D do wykrycia kierunku ruchu

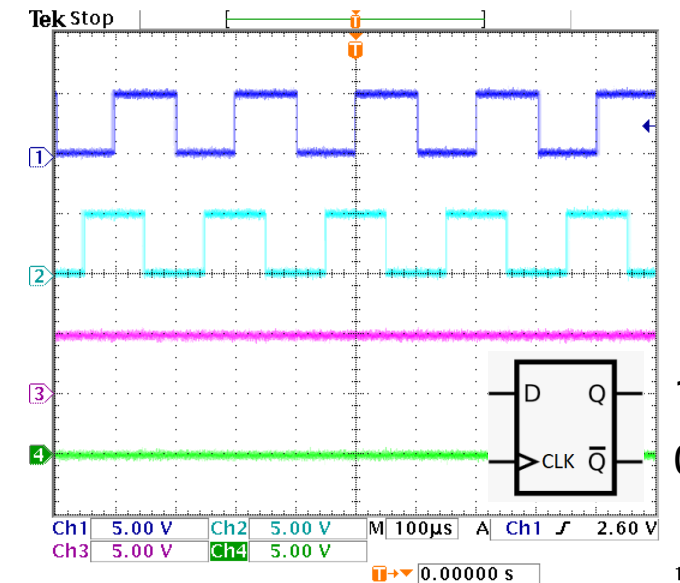


A=CLK

B=D

Q

not Q



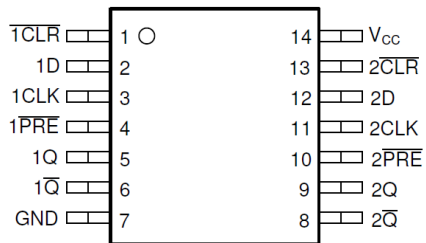
8 May 2026
15:42:23

Obrót w prawo

SN74HC74

SN74HC74 zawiera dwa niezależne przerzutniki typu D z asynchronicznymi PRESET oraz CLEAR

NAME	PIN		I/O	DESCRIPTION
	D, DB, N, NS, PW, J, or W	FK		
1 CLR	1	2	Input	Channel 1, Clear Input, Active Low
1D	2	3	Input	Channel 1, Data Input
1CLK	3	4	Input	Channel 1, Positive edge triggered clock input
1PRE	4	6	Input	Channel 1, Preset Input, Active Low
1Q	5	8	Output	Channel 1, Output
1Q̄	6	9	Output	Channel 1, Inverted Output
GND	7	10	—	Ground
2Q̄	8	12	Output	Channel 2, Inverted Output
2Q	9	13	Output	Channel 2, Output
2PRE	10	14	Input	Channel 2, Preset Input, Active Low
2CLK	11	16	Input	Channel 2, Positive edge triggered clock input
2D	12	18	Input	Channel 2, Data Input
2 CLR	13	19	Input	Channel 2, Clear Input, Active Low
V _{CC}	14	20	—	Positive Supply
NC		1, 5, 7, 11, 15, 17	—	Not internally connected

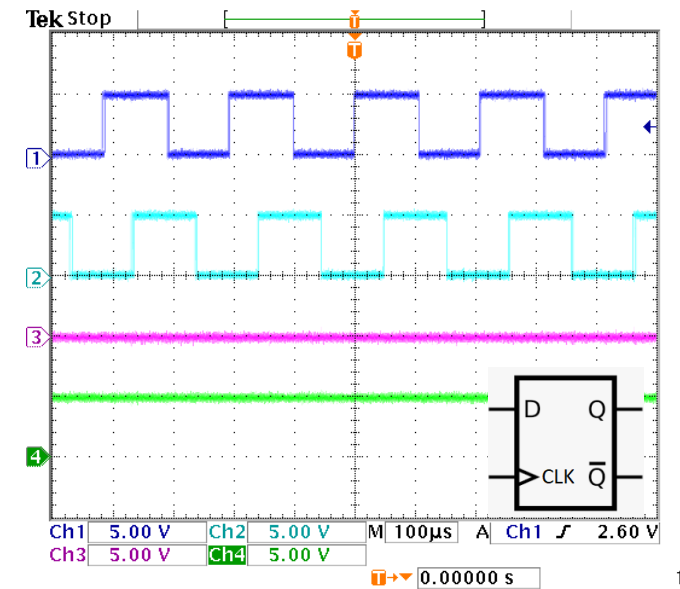


A=CLK

B=D

Q

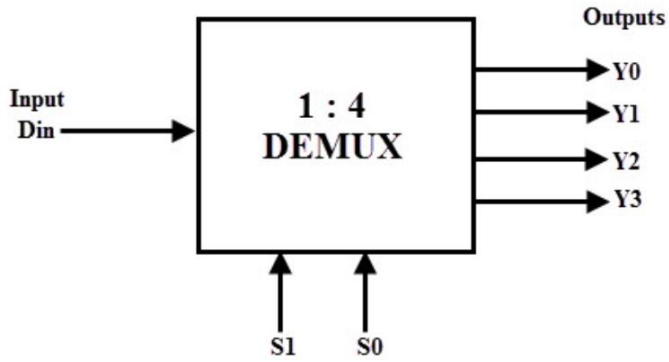
not Q



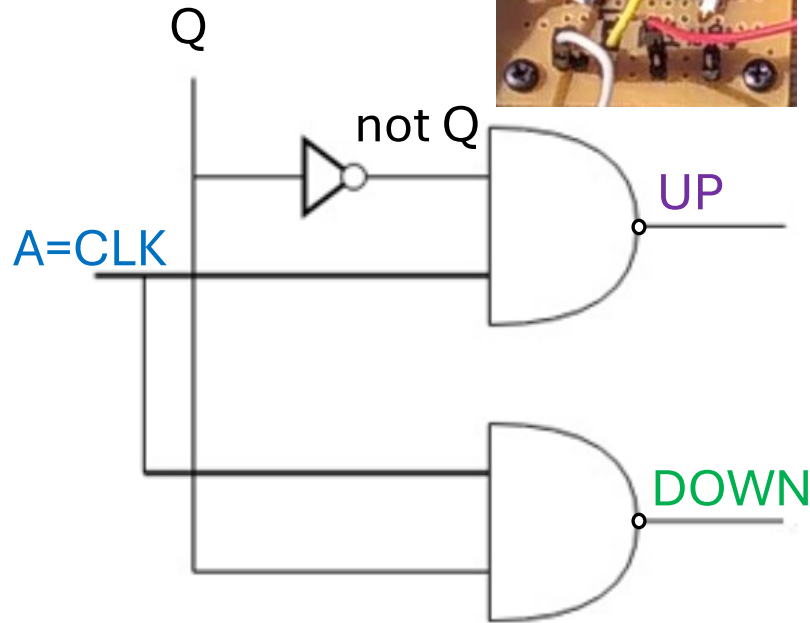
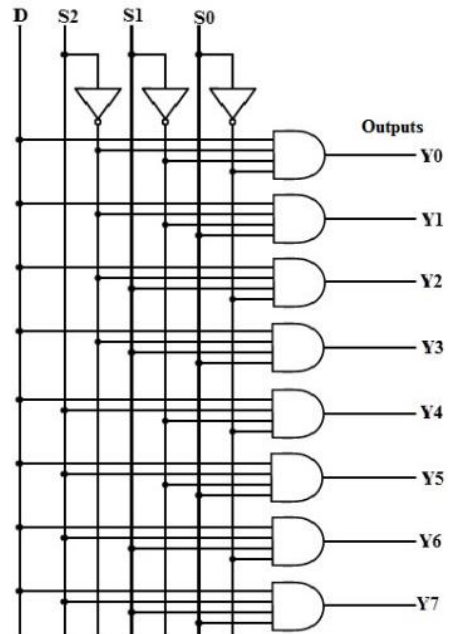
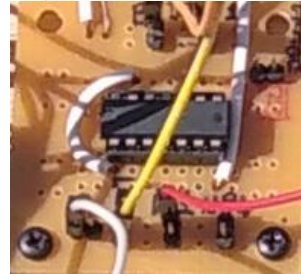
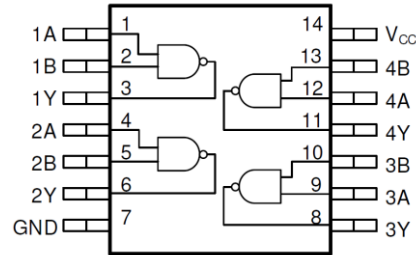
8 May 2026
15:44:15

Obrót w lewo

Demultiplexer



74HC00N

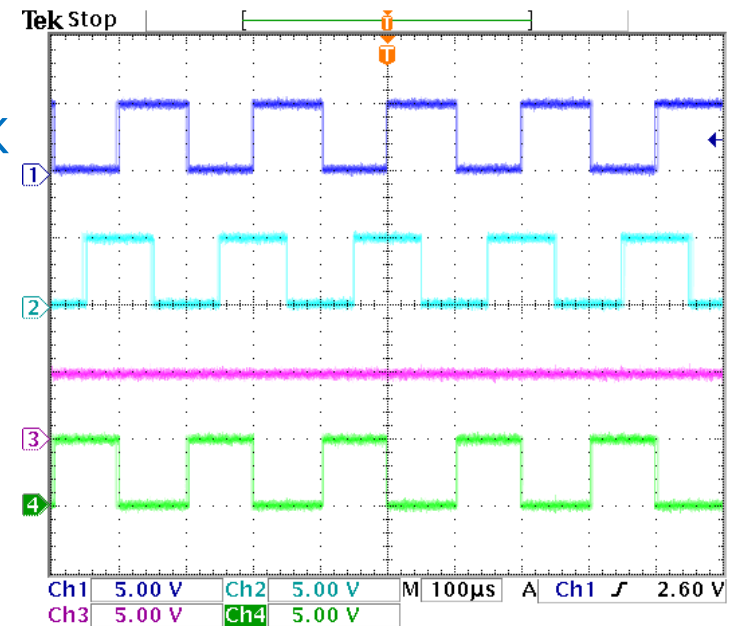


A=CLK

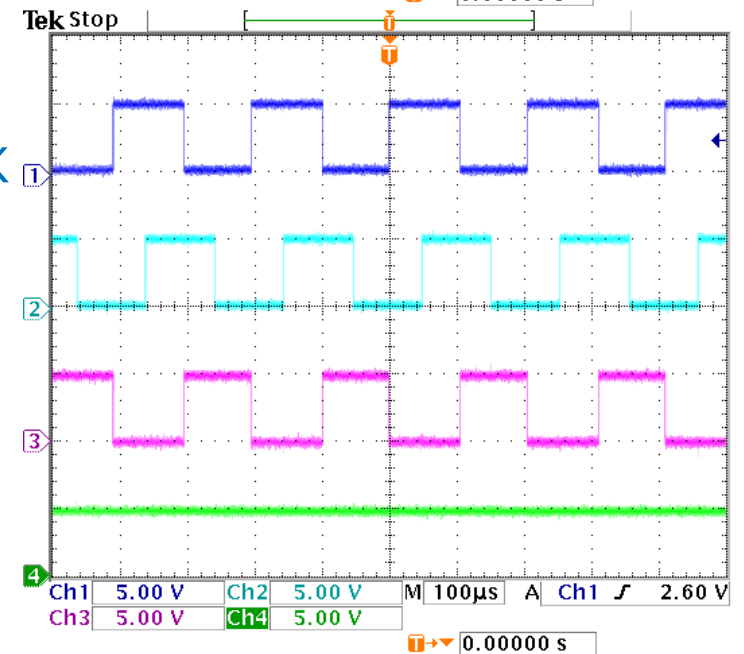
B=D

UP

DOWN

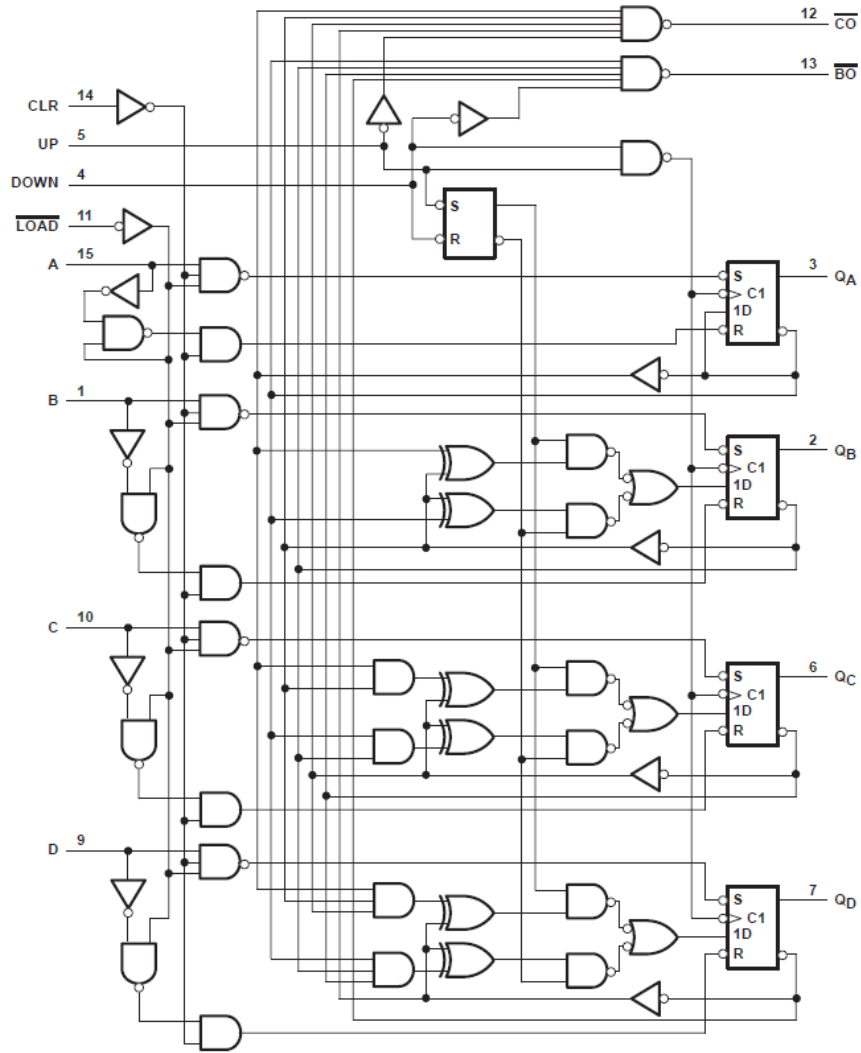


8 May 2026
16:03:26

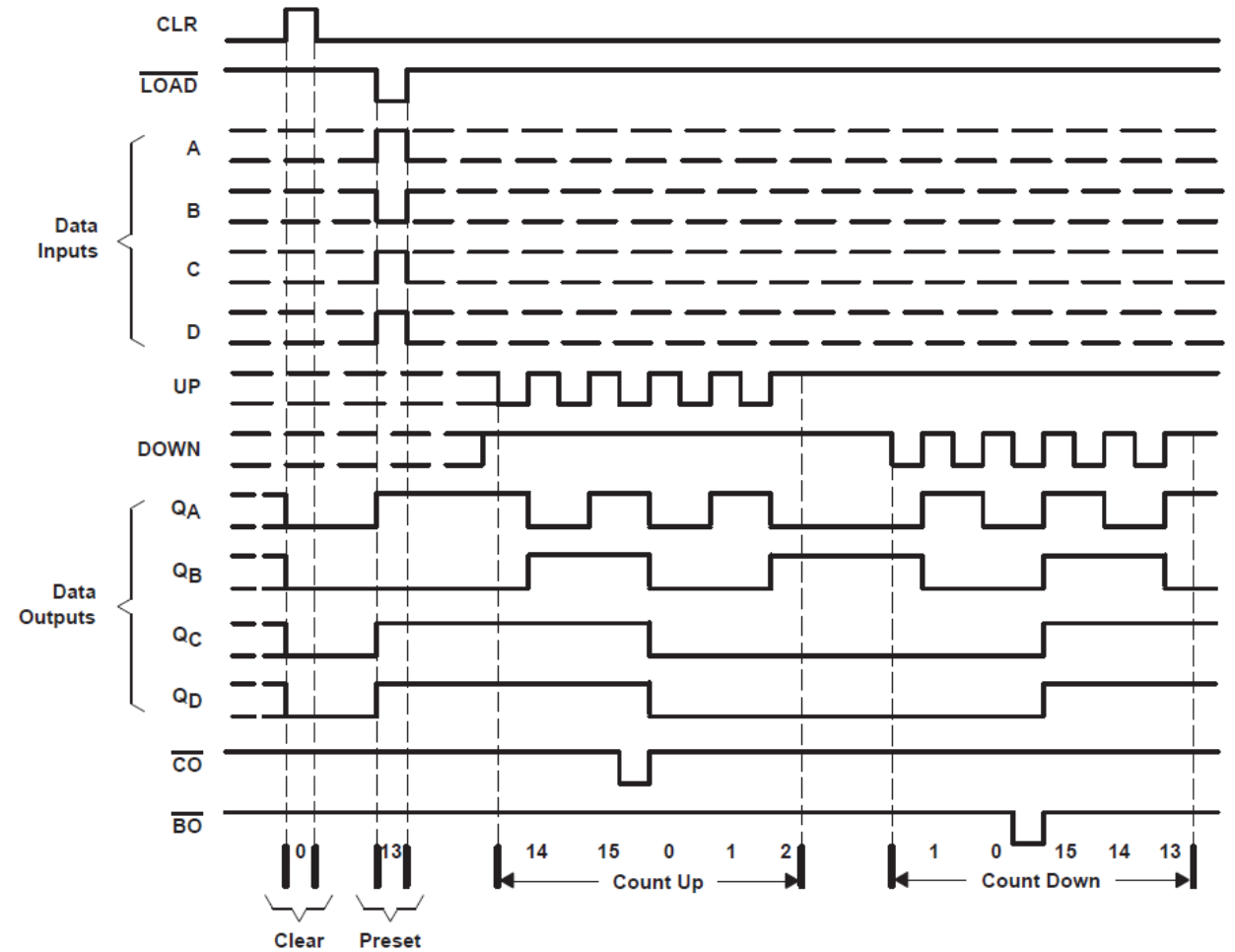


8 May 2026
16:06:21

Licznik 74HC193N

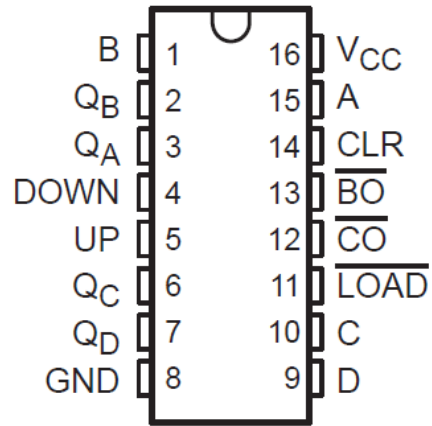
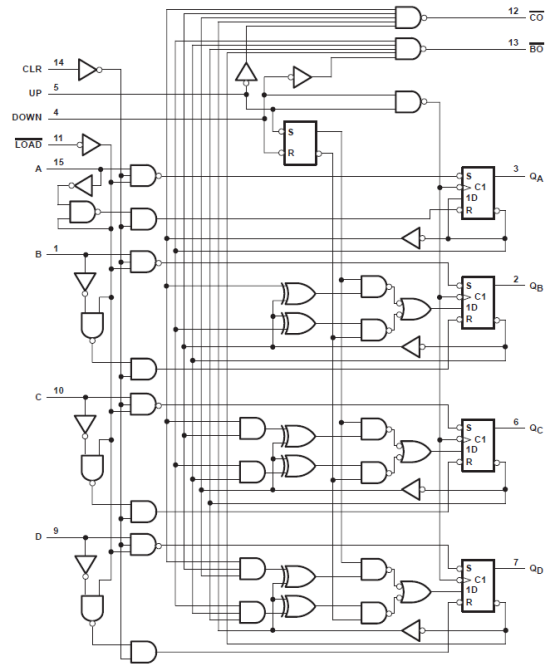


1. Clear outputs to 0
2. Load (preset) to binary 13
3. Count up to 14, 15, carry, 0, 1, and 2
4. Count down to 1, 0, borrow, 15, 14, and 13

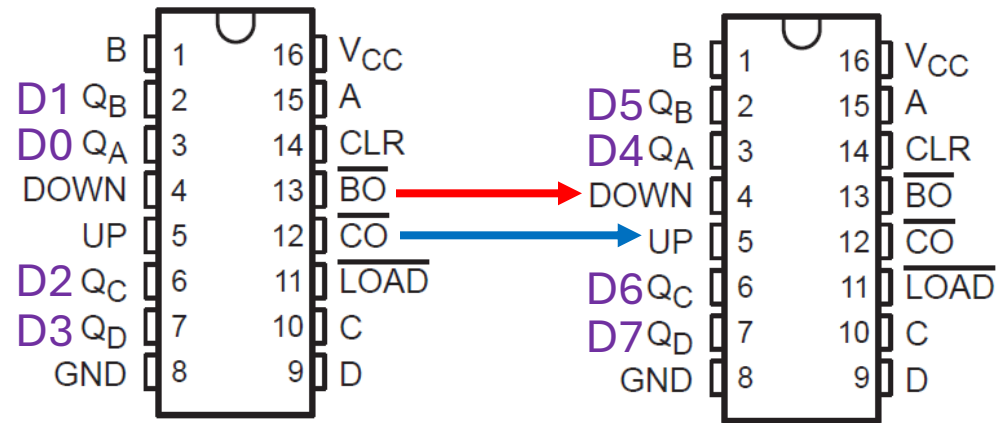


NOTES: A. CLR overrides $\overline{\text{LOAD}}$, data, and count inputs.
 B. When counting up, count-down input must be high; when counting down, count-up input must be high.

Kaskadowanie liczników



Licznik 8-bitowy



D0 D1 D2 D3 D4 D5 D6 D7

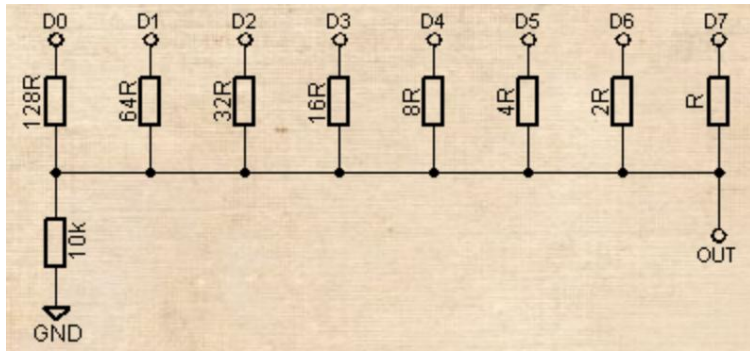
D0 – najmłodszy bit

D1

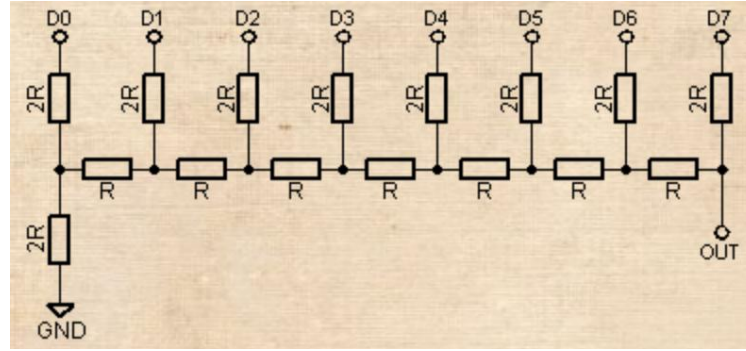
...

D7 – najstarszy bit

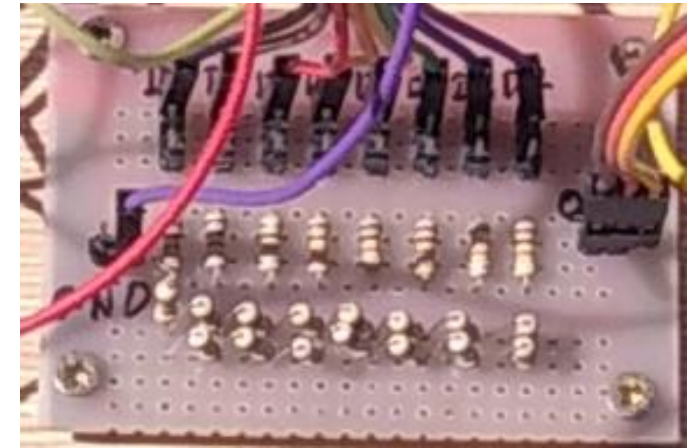
Przetworniki DAC (Digital-Analog Converter)



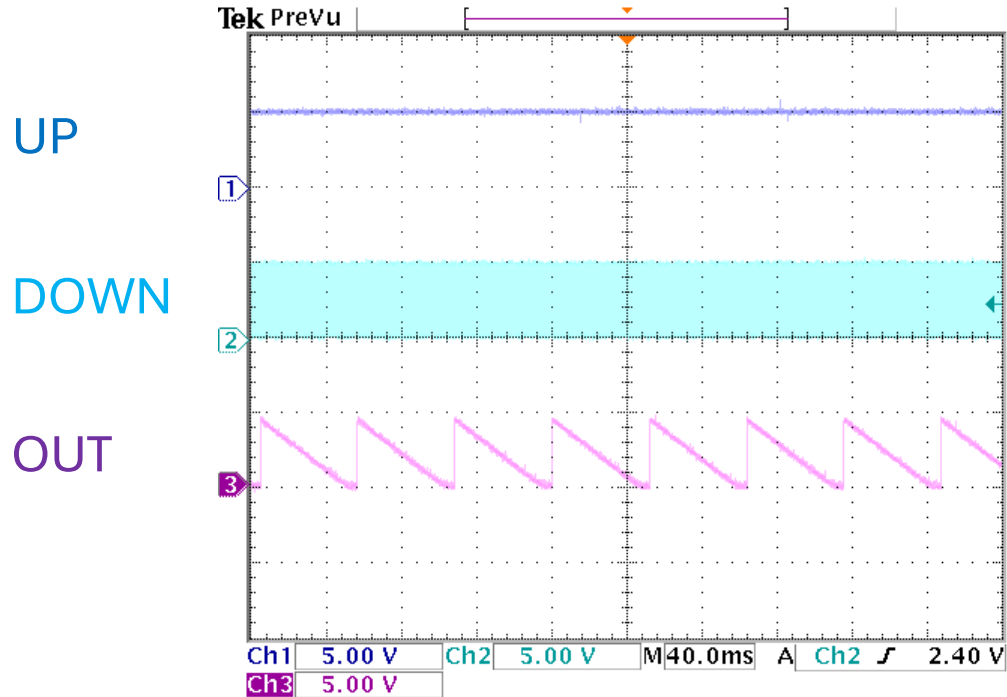
Drabina binarna



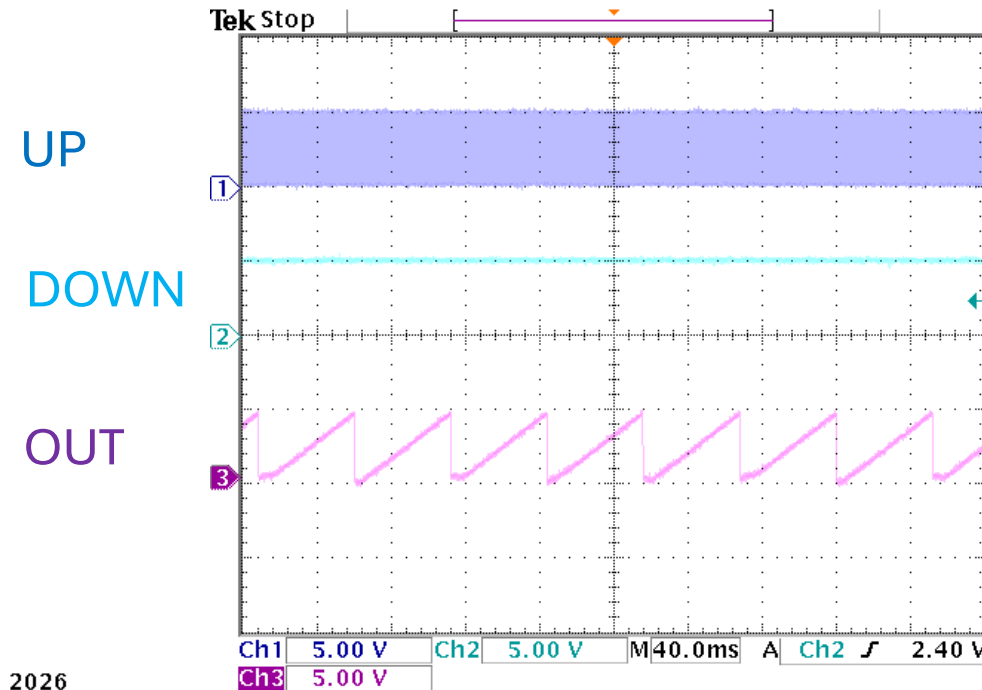
Drabina R-2R



R=5k, 5%

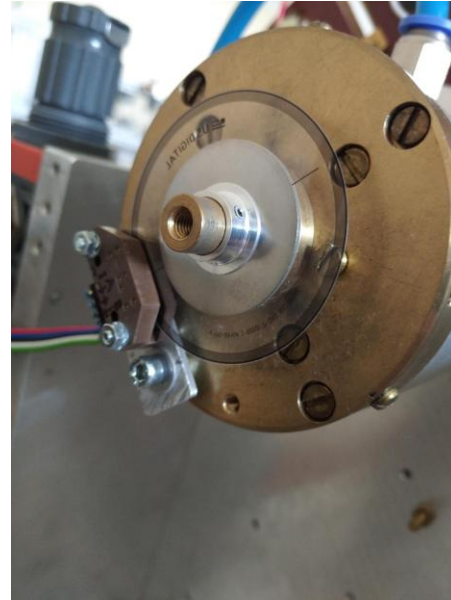
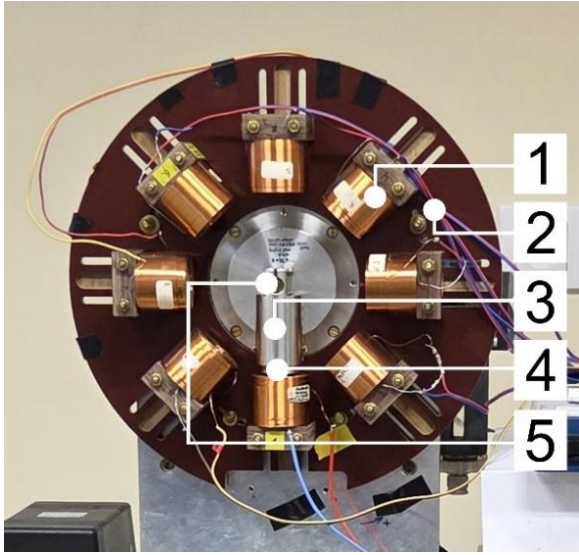


8 May 2026
16:58:29



8 May 2026
17:17:59

Założenia docelowe dla konwertera sygnału enkoderowego enkodera zamontowanego w układzie z wahadłem magnetycznym.



$$\text{CPR} = 10\,000 (4x) = 40\,000$$

$$2^{16} = 65\,536 > 40\,000$$

Wymagania:

Zwiększenie rozdzielczości do 2x lub 4x

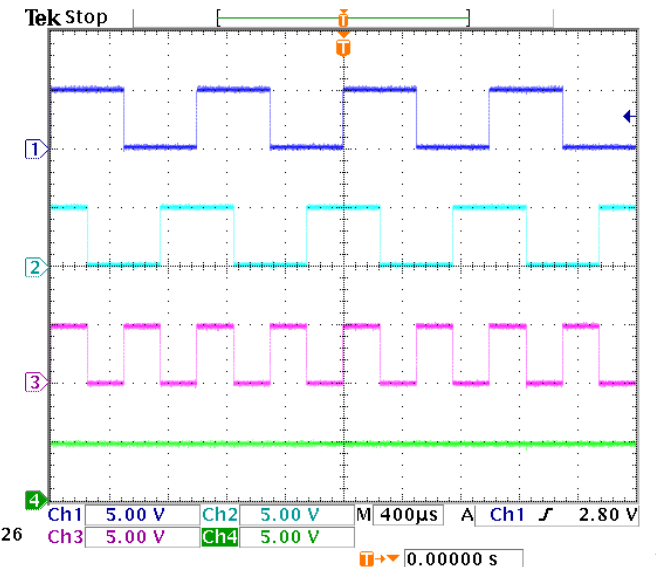
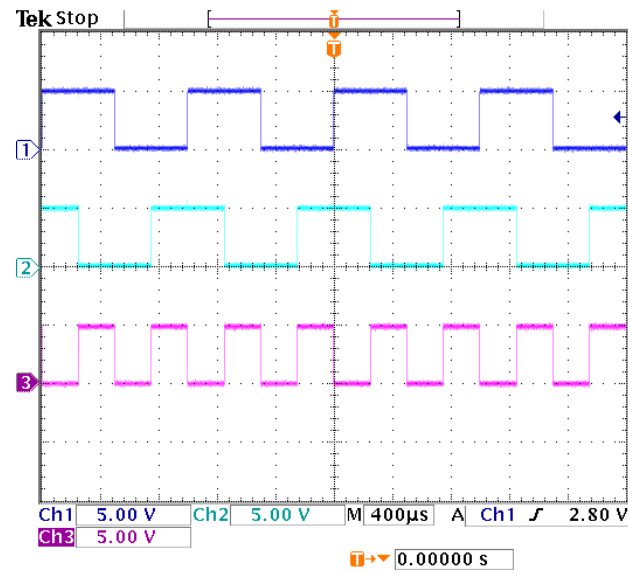
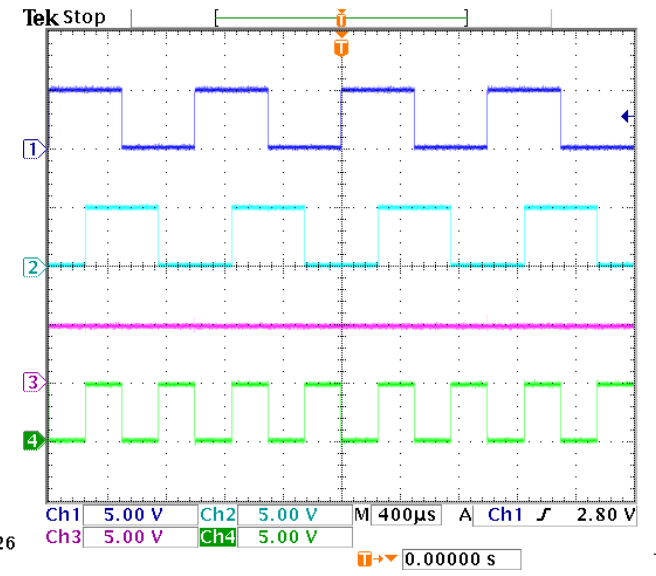
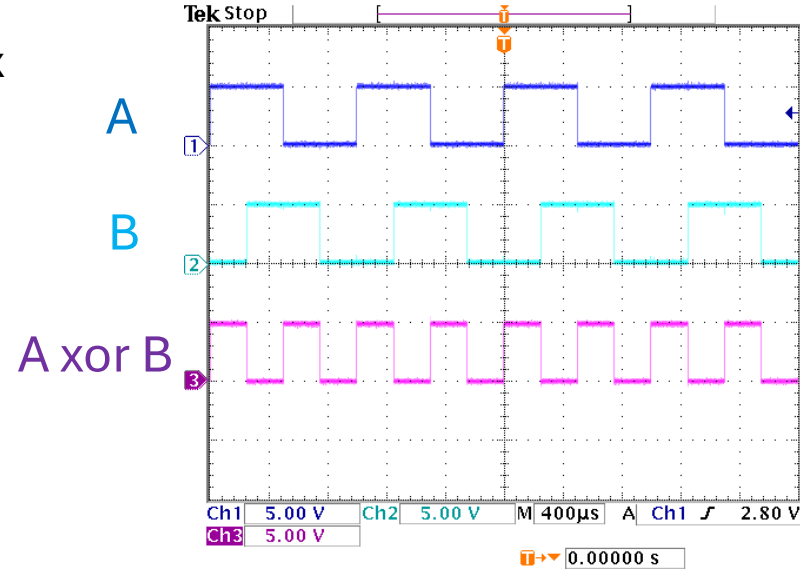
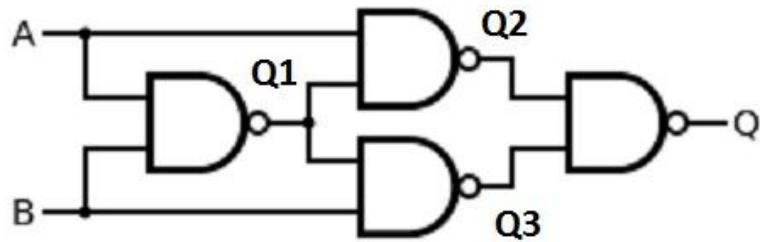
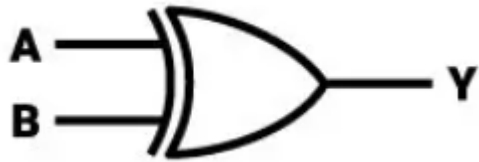
Licznik 16-bitowy

16-bitowy przetwornik DAC

Zwiększenie rozdzielczości z 1x do 2x

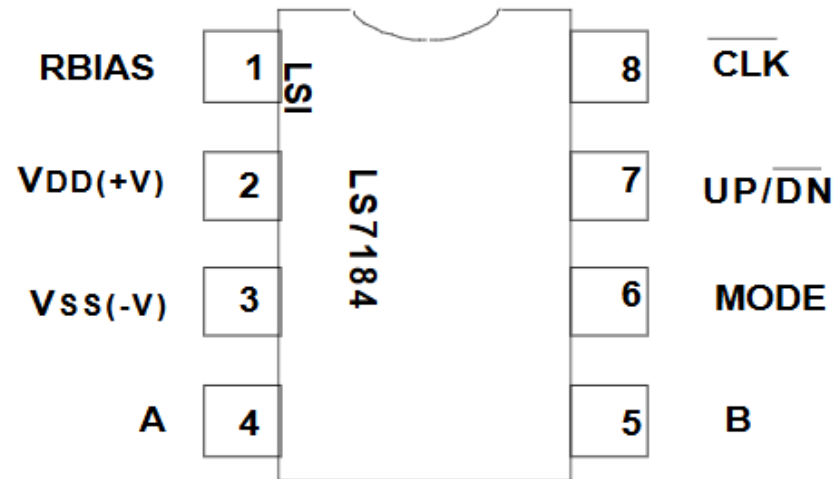
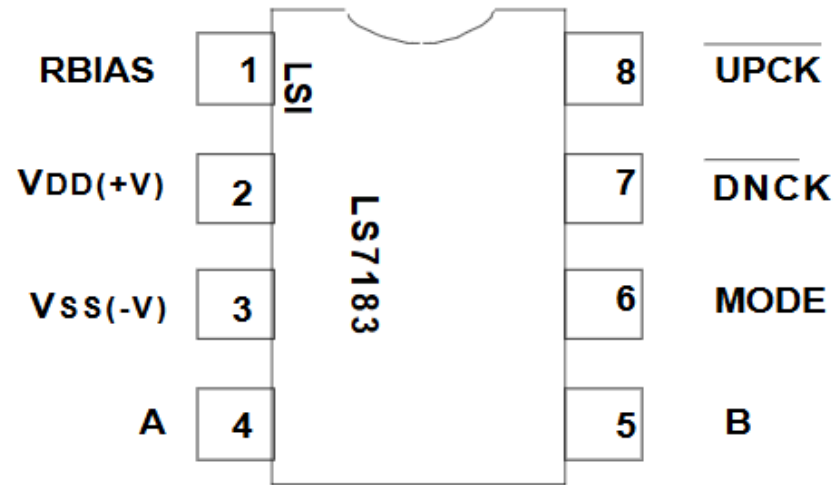
Tabela Prawdy XOR (2 wejścia)

Wejście A	Wejście B	Wyjście (A ⊕ B)
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

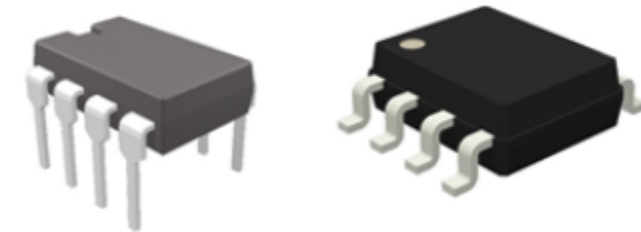


Gotowe rozwiązania na dekodowanie 1x, 2x i 4x (konwertery sygnału kwadraturowego na zegarowy):

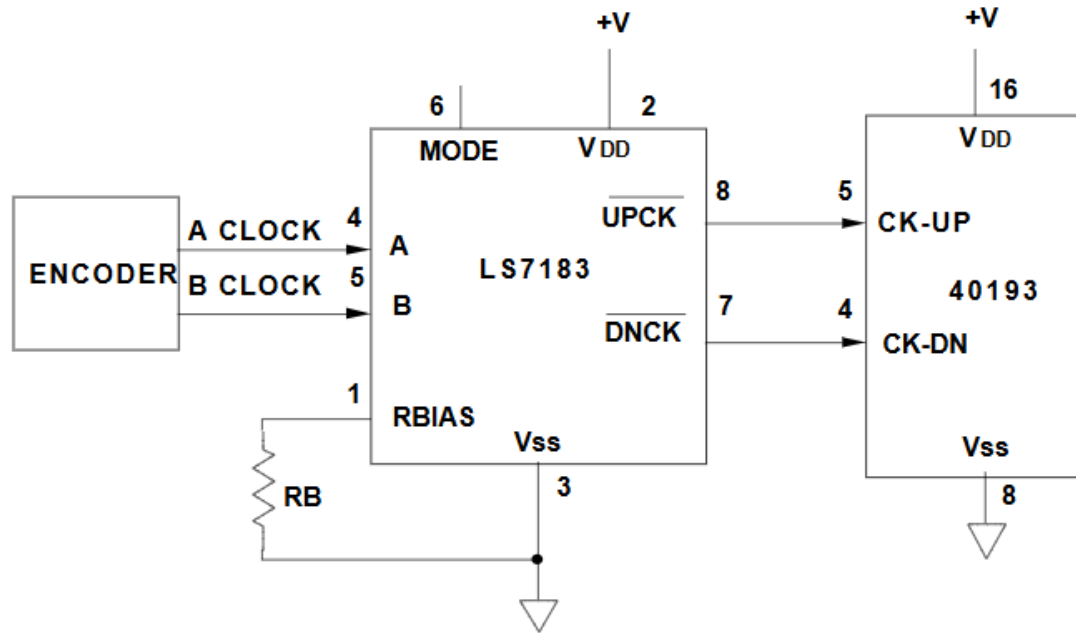
- **LS7183** (starsza wersja **LS7083**)
- **LS7184** (starsza wersja **LS7084**)



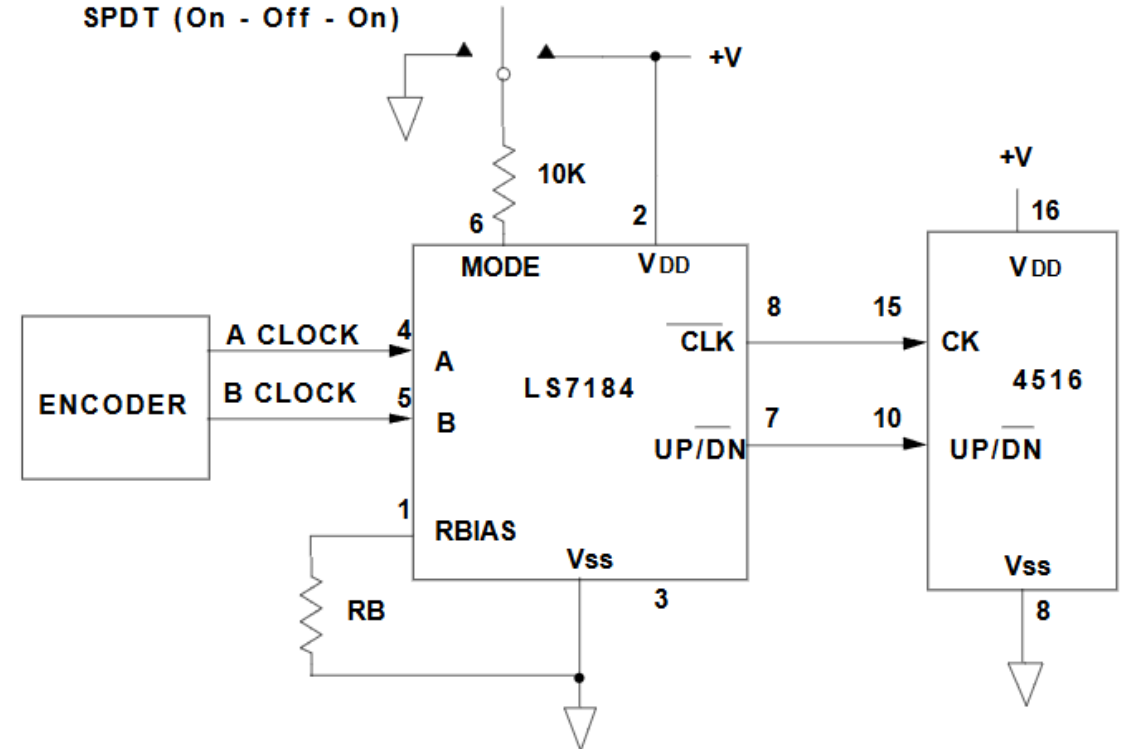
LSI Computer Systems, Inc. 1235 Walt Whitman Road, Melville, NY 11747
(631) 271-0400 FAX (631) 271-0405



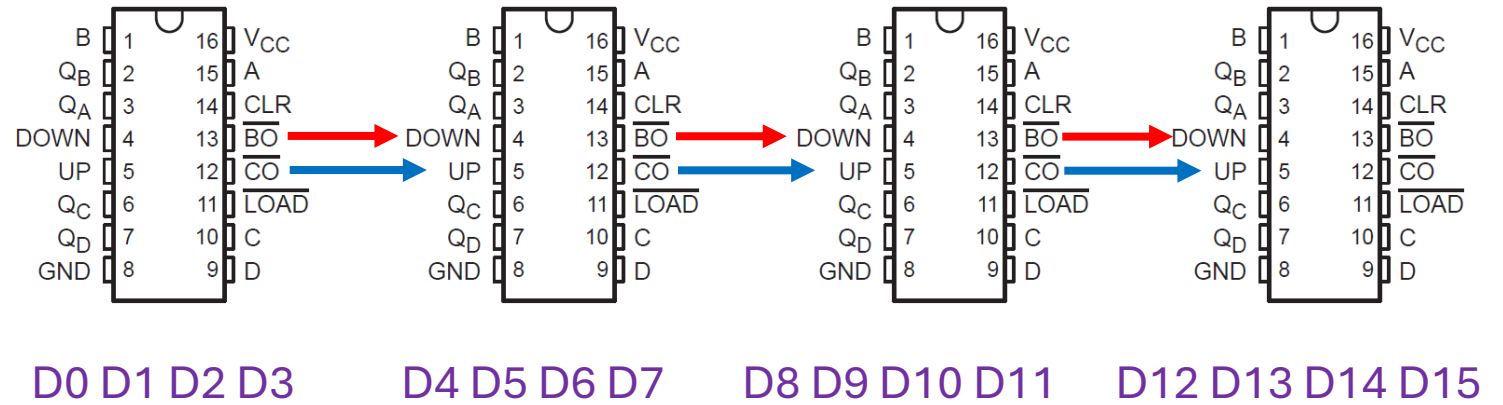
LS7183



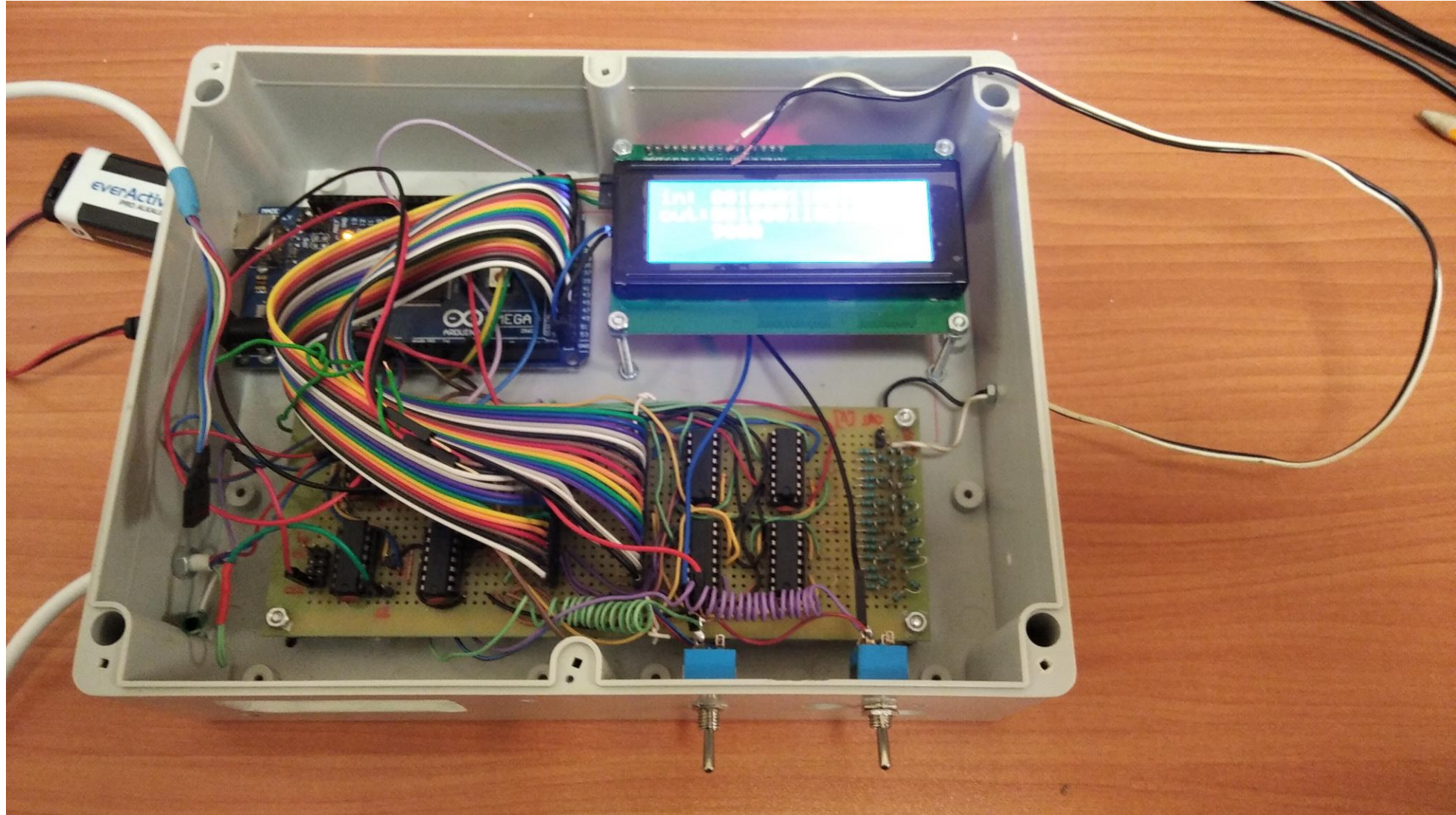
LS7184

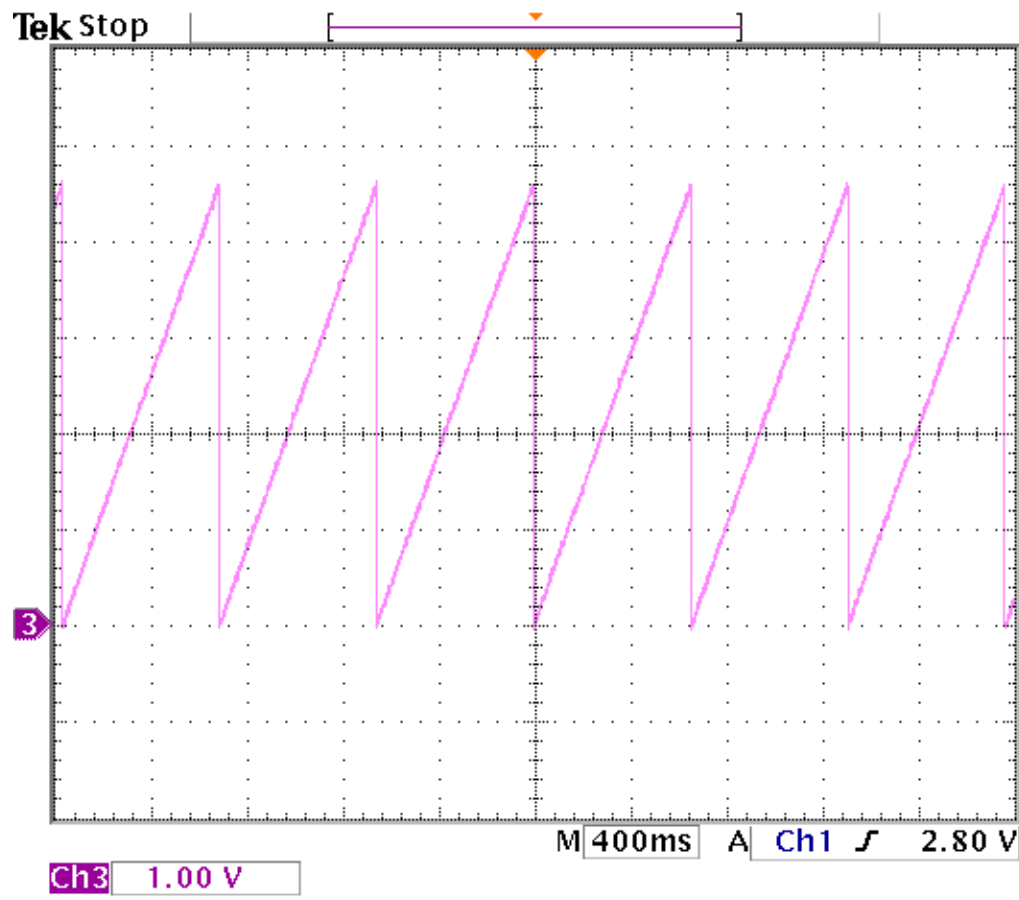


Licznik 16-bitowy, przetwornik 16-bitowy:

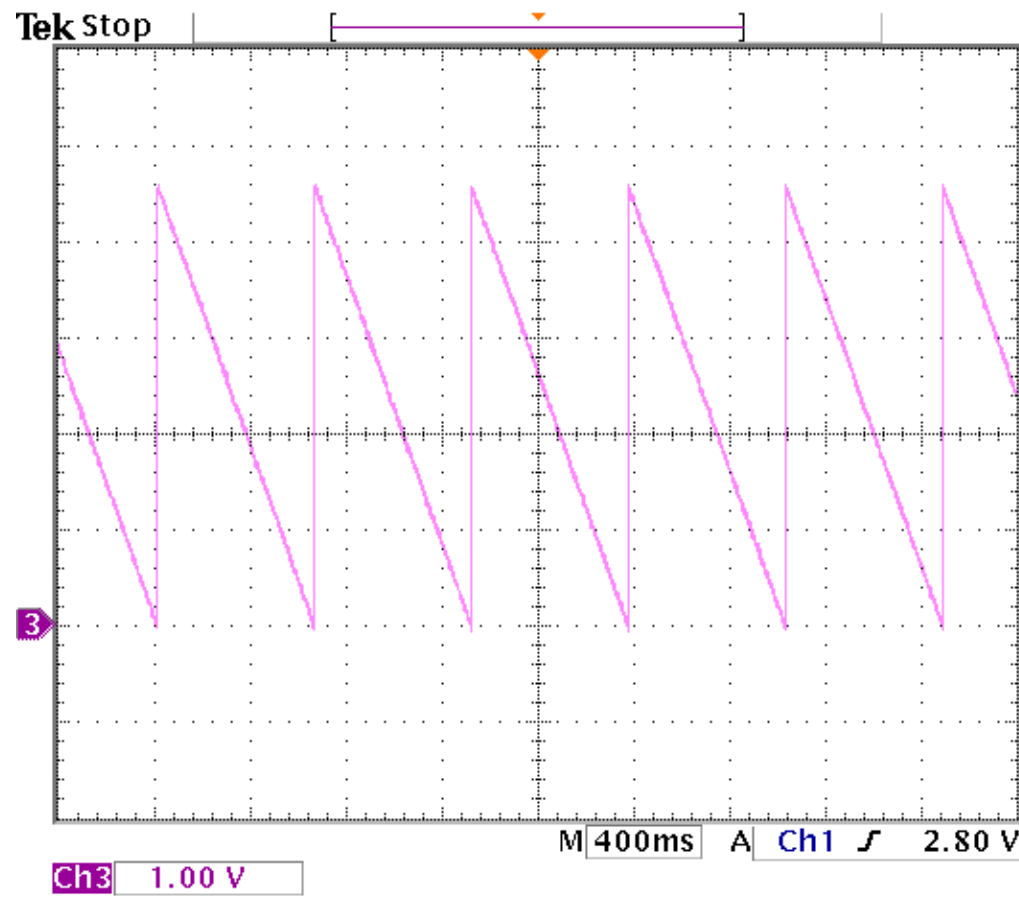


Zbudowany konwerter (bramki Schmidta, detektor kierunku , xor dla2x, demultiplexer 1-bitowy, licznik 16-bitowy UP/DOWN oraz przetwornik typu R-2R 16-bitowy):

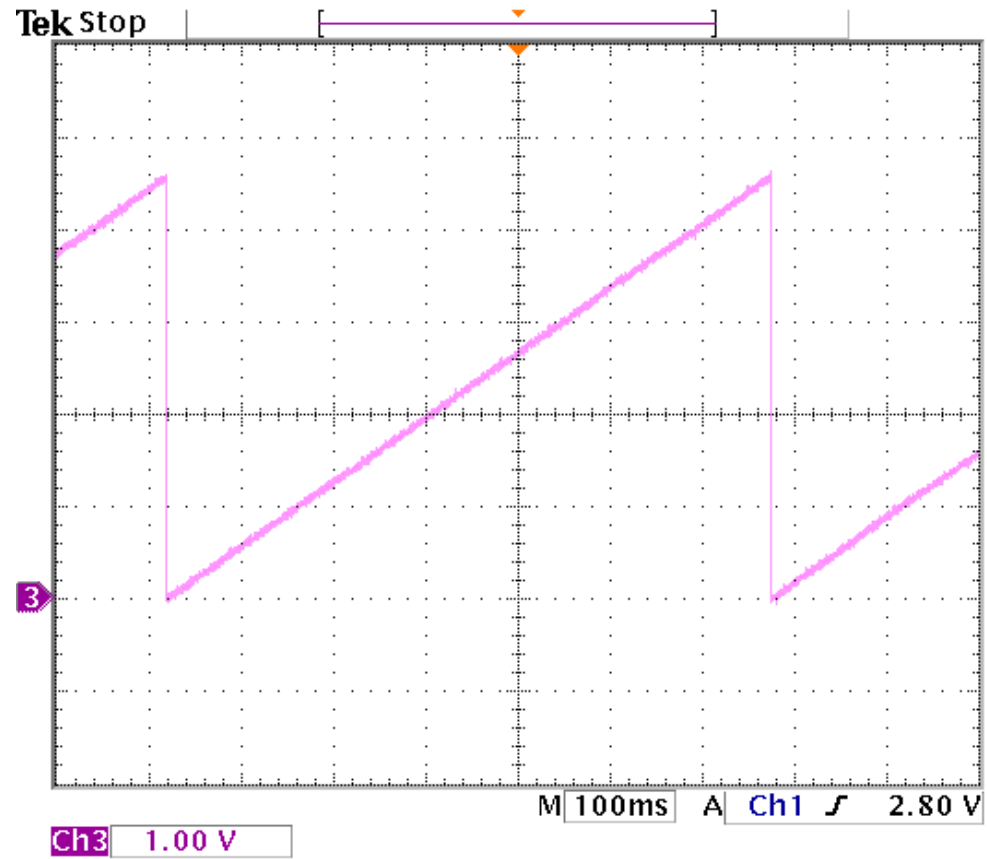




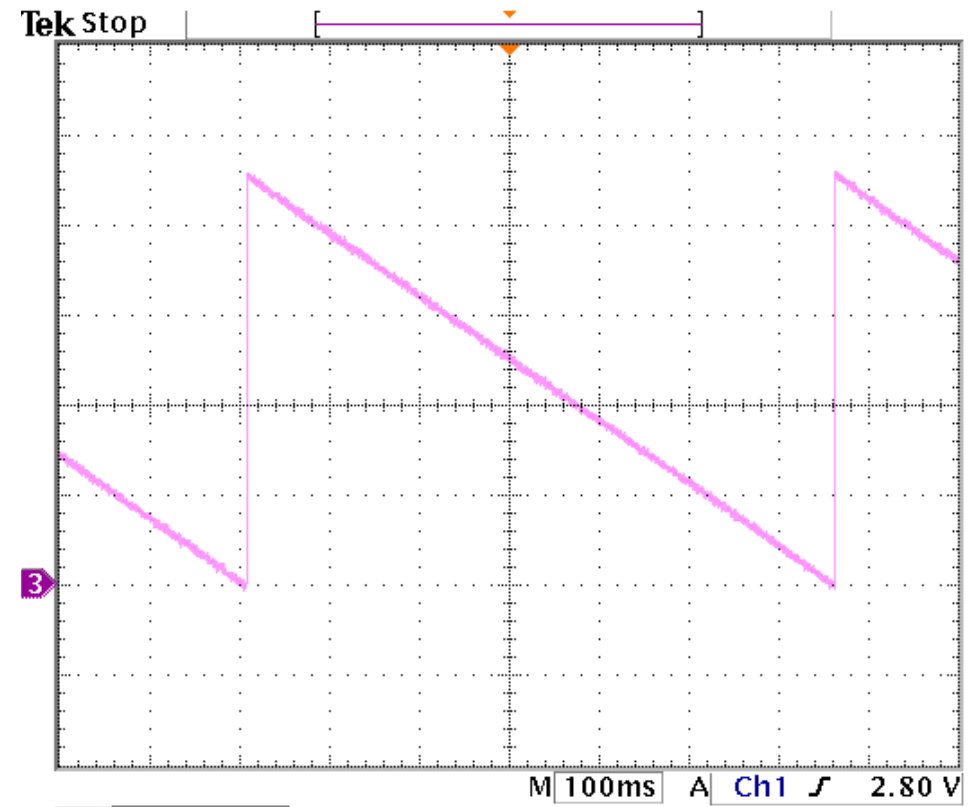
9 May 2026
17:53:40



9 May 2026
17:57:05

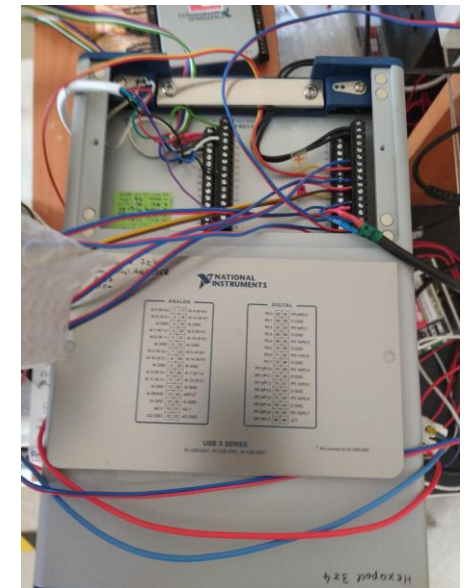
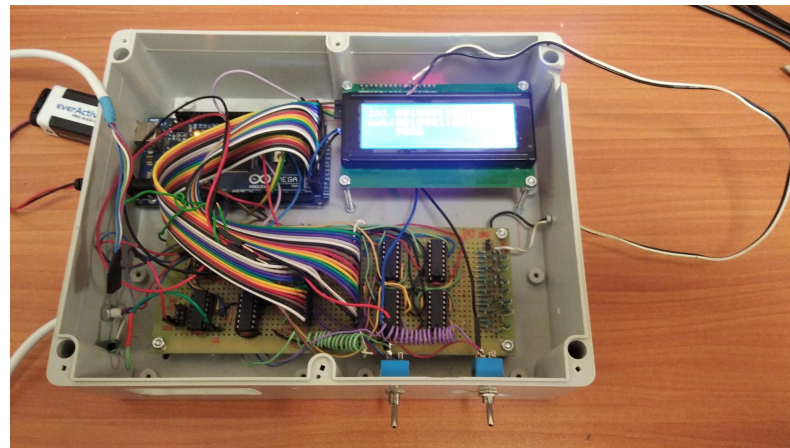
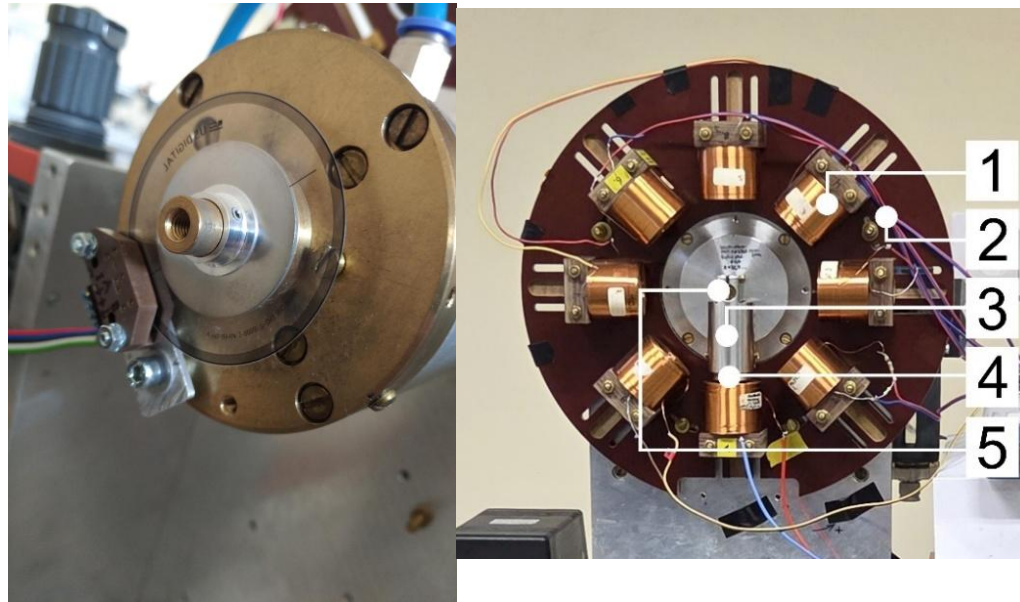
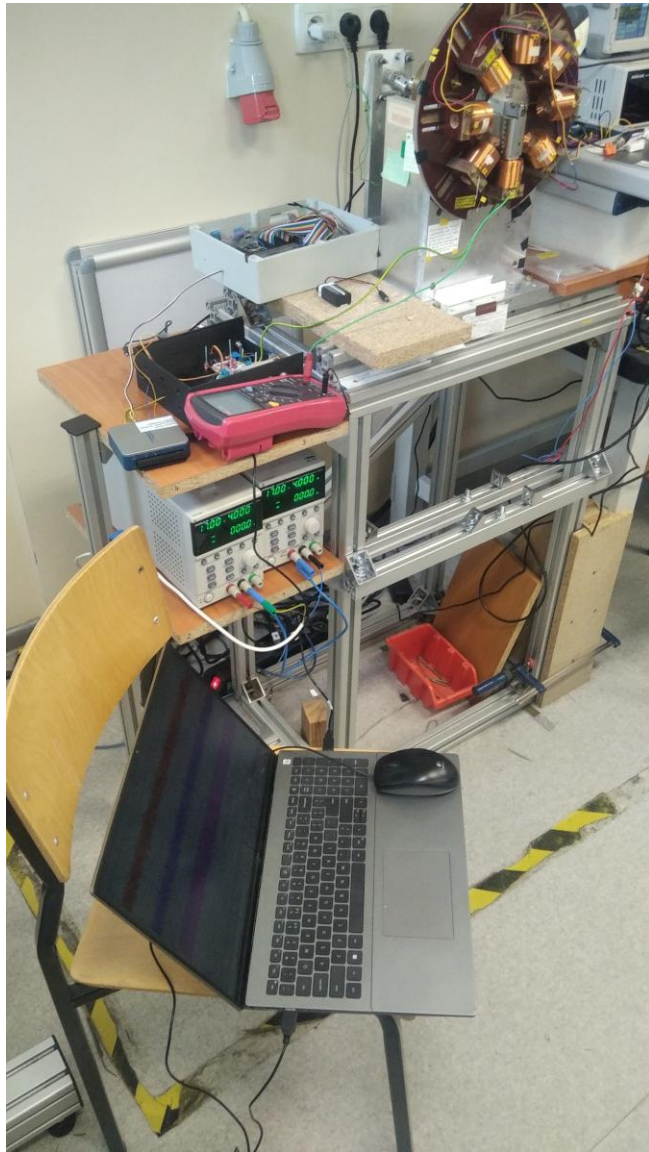


9 May 2026
17:56:24

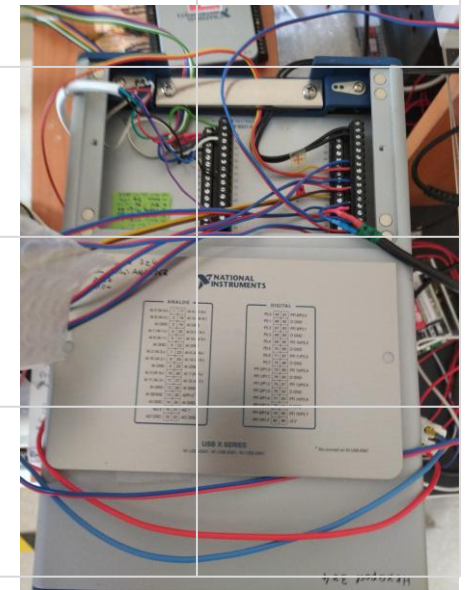
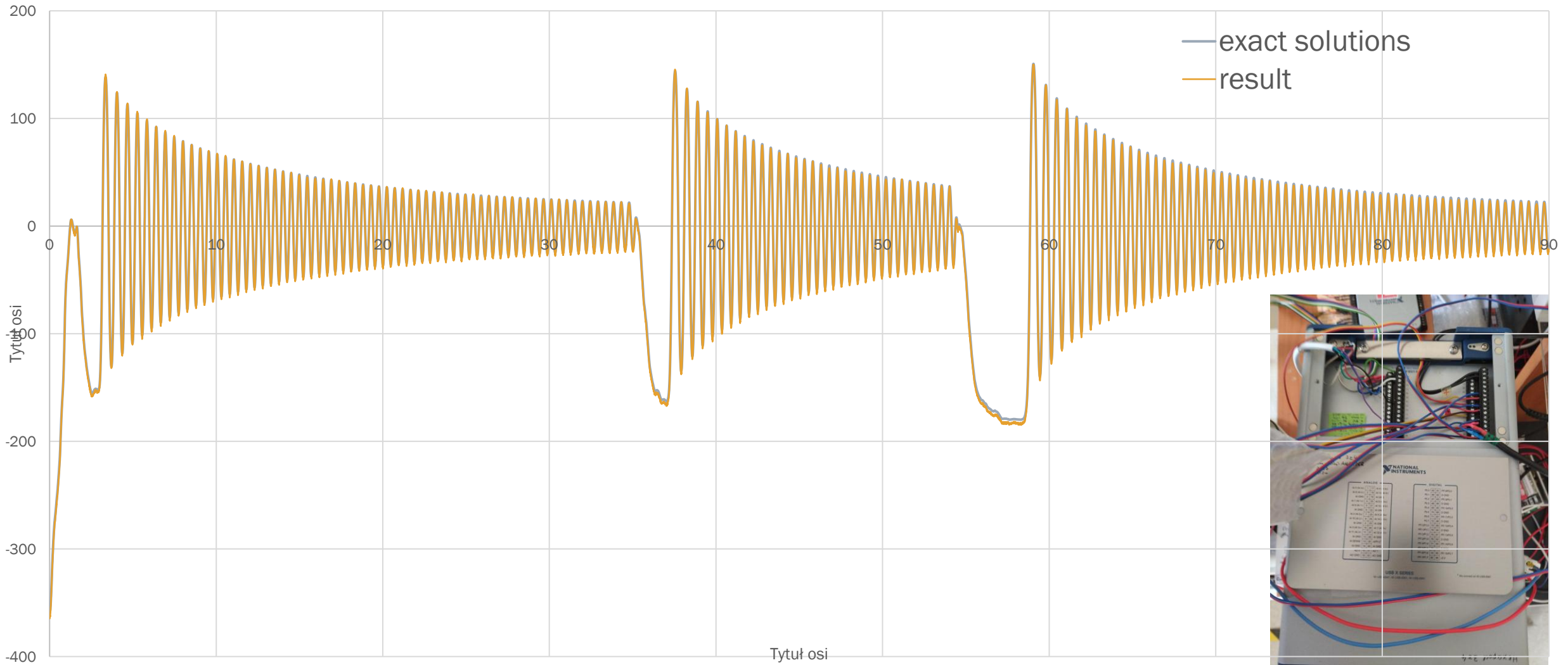


9 May 2026
17:58:11

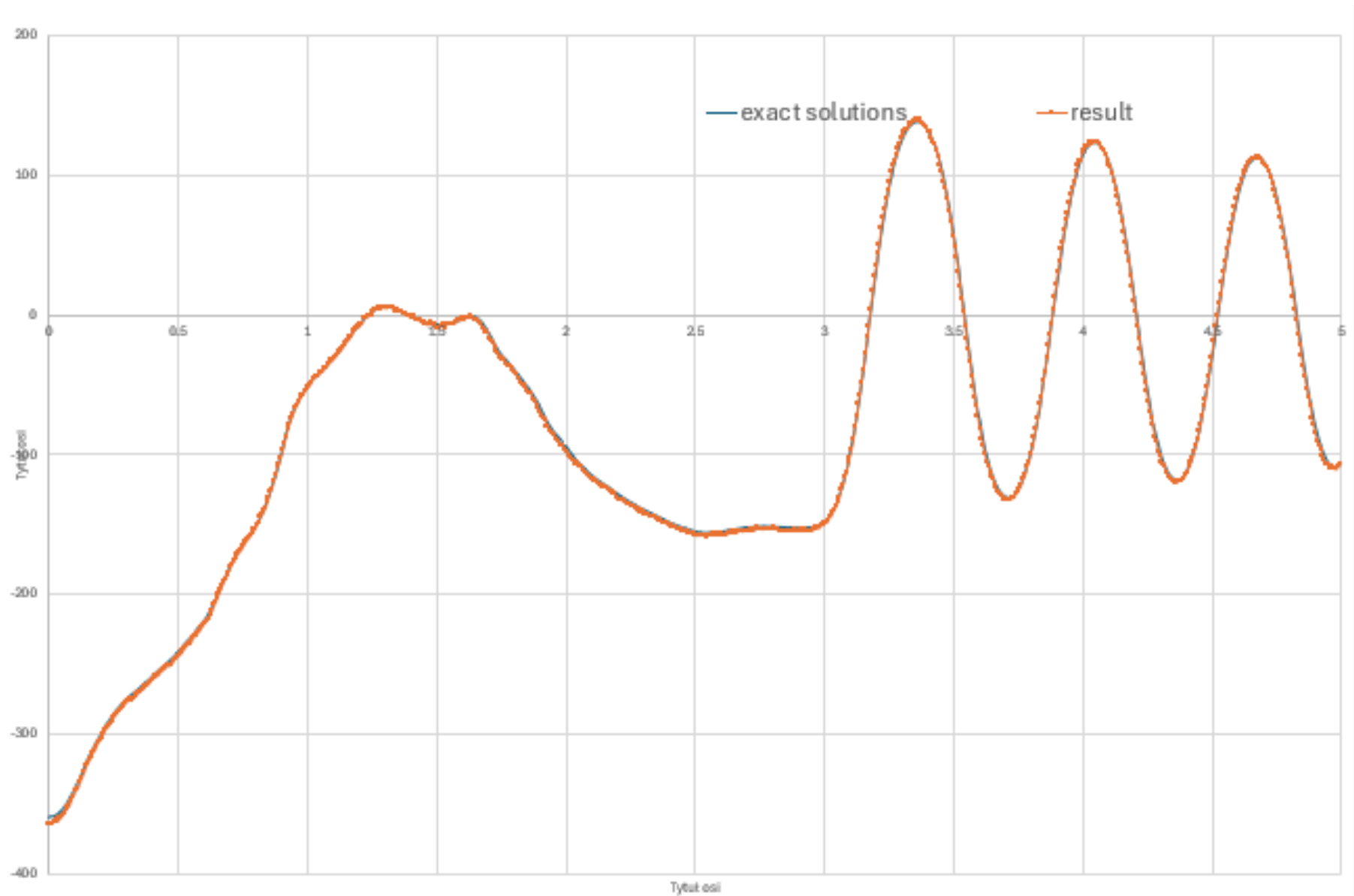
Sprawdzenie działania i porównanie z „rozwiązaniem dokładnym”



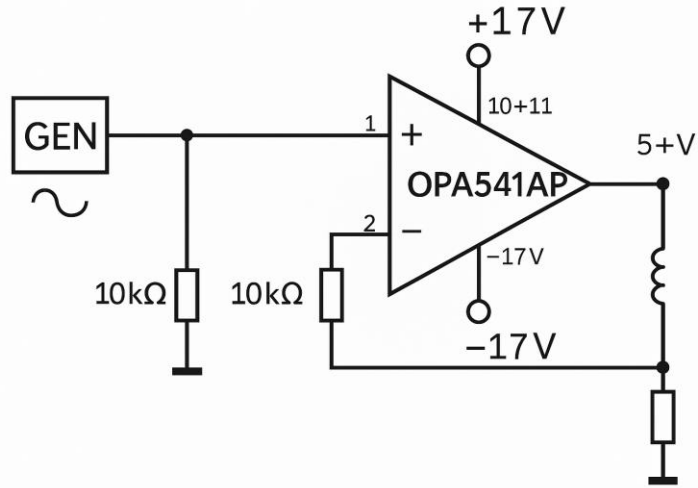
DRGANIA SWOBODNE (porównanie napięcia DAC przetworzonego na prędkość z „exact solution”)



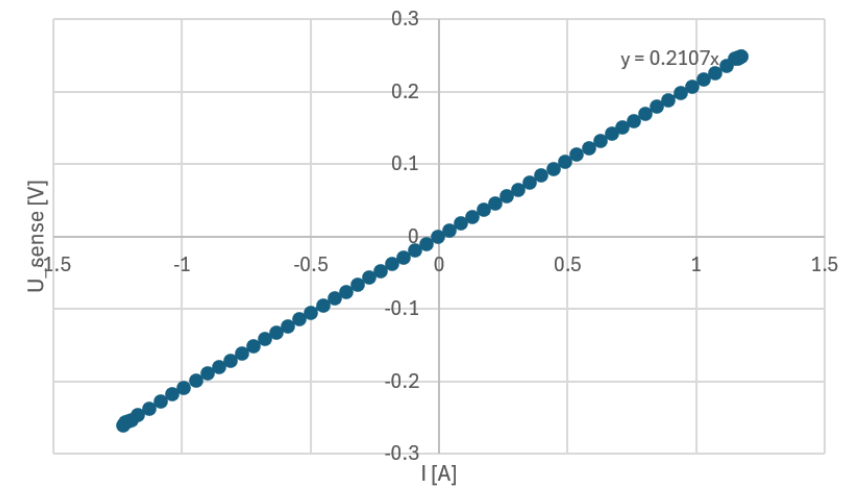
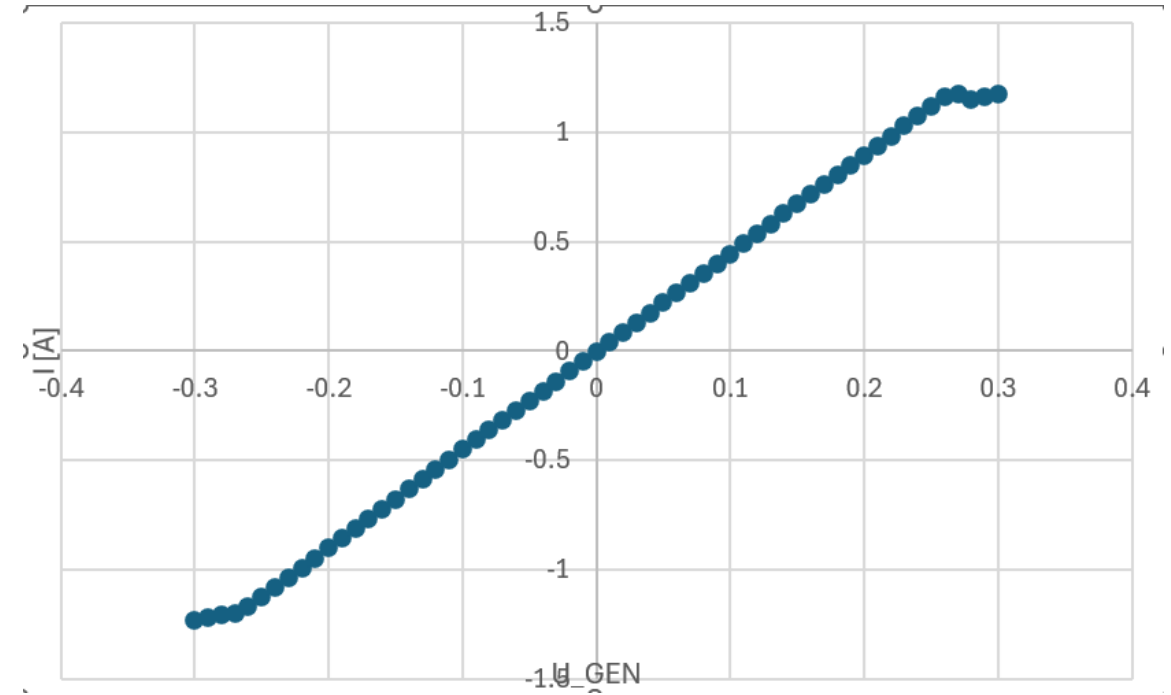
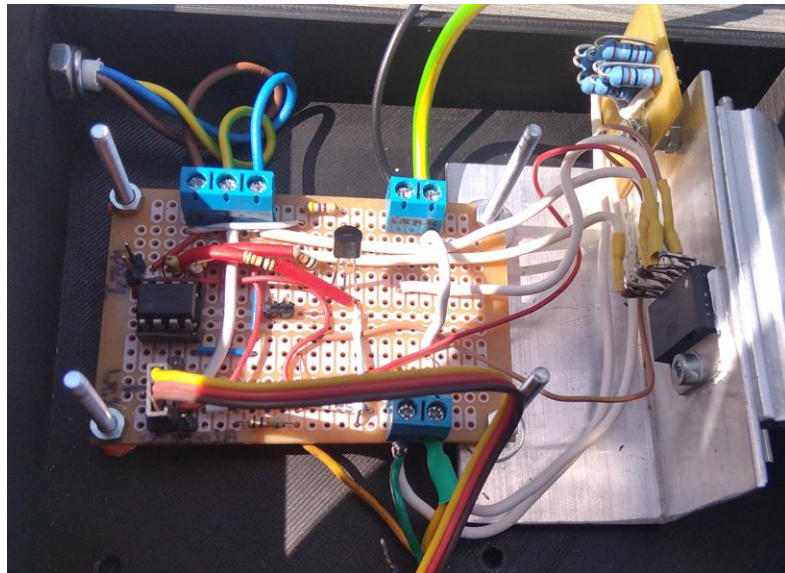
DRGANIA SWOBODNE (porównanie napięcia DAC przetworzonego na prędkość z „exact solution”)



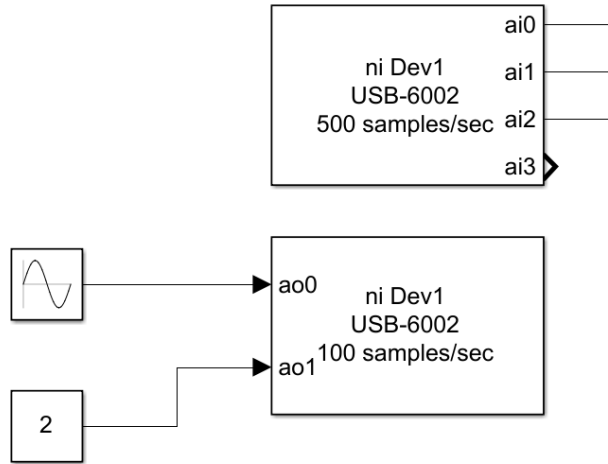
Zbudowane źródło prądowe (schemat, zdjęcie, charakterystyki)



Źródło prądowe sterowane napięciowo



Matlab-Simulink (wejścia i wyjścia analogowych) + Matlab-Simulink (konfiguracja wejść i wyjść analogowych)



Block Parameters: Analog Input

Analog Input
Acquire block of data from multiple analog channels of a data acquisition device. Every simulation time step, a column vector of samples with size specified in Block size field would be acquired from each channel.

Parameters

Device: ni Dev1 (USB-6002)

Acquisition Mode

Asynchronous - Initiates the acquisition when simulation starts. The simulation runs while data is acquired into a FIFO buffer.

Synchronous - Initiates the acquisition at each time step. The simulation will not continue until all data is acquired.

Channels:

	Channel ID	Name	Module	Measurement Type	Terminal Config	Inp Rai
<input checked="" type="checkbox"/>	ai0		Dev1	Voltage	Differential	-10 to +10
<input checked="" type="checkbox"/>	ai1		Dev1	Voltage	Differential	-10 to +10
<input checked="" type="checkbox"/>	ai2		Dev1	Voltage	Differential	-10 to +10
<input checked="" type="checkbox"/>	ai3		Dev1	Voltage	Differential	-10 to +10
<input type="checkbox"/>	ai4		Dev1	Voltage	SingleEnded	-10 to +10

Number of ports: 1 per channel

Input sample rate (samples/second): 500
Actual rate will be 500 samples per second.

Block size: 2

Output relative timestamps

Block Parameters: Analog Output1

Analog Output
Output block of data to multiple analog channels of a data acquisition device every simulation time step. It performs one synchronous write at every time step, blocking the simulation until all of the input data has been output to hardware.

Parameters

Device: ni Dev1 (USB-6002)

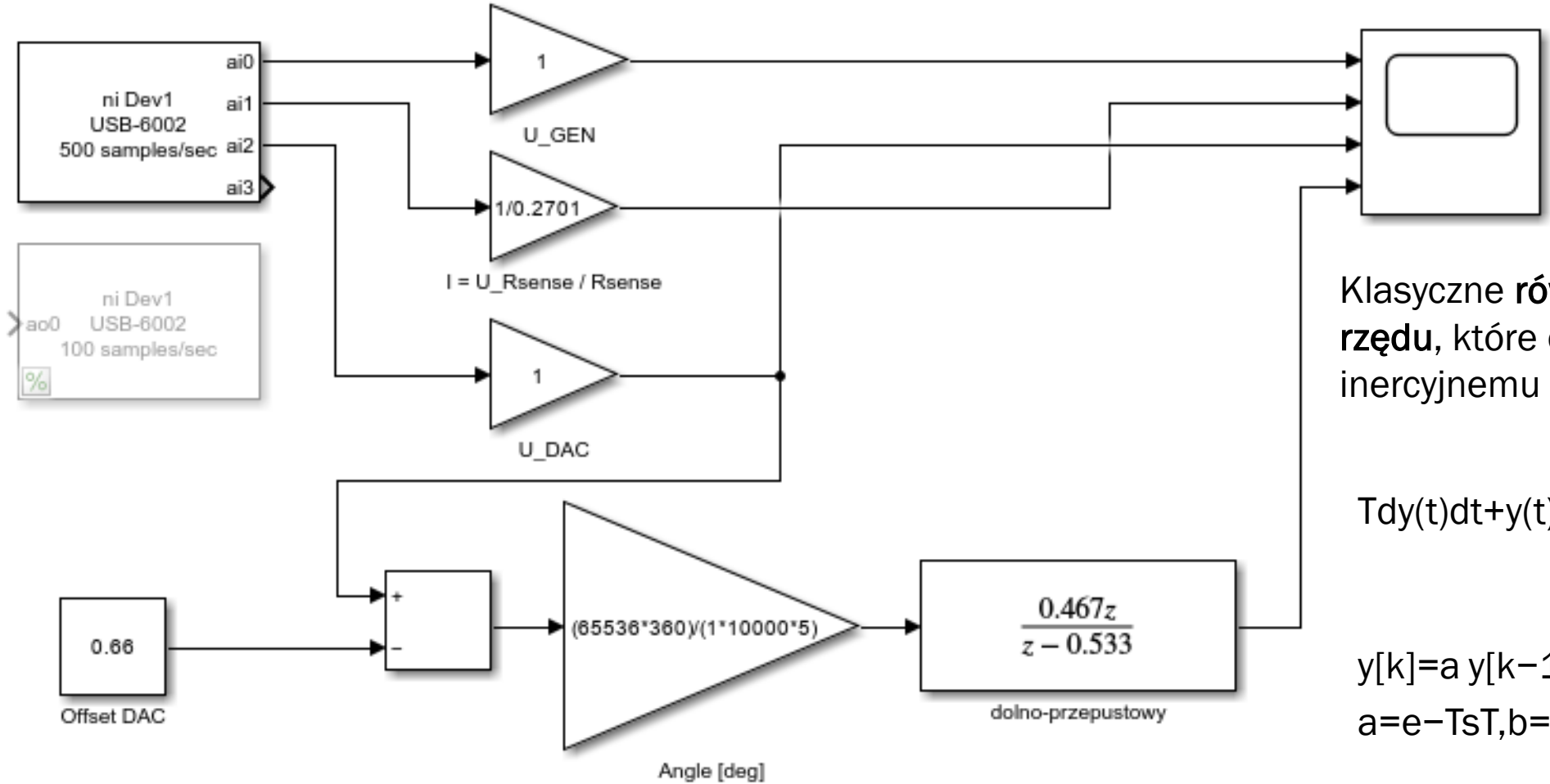
Channels:

	Channel ID	Name	Module	Measurement Type	Inp Rai
<input checked="" type="checkbox"/>	ao0		Dev1	Voltage	-10 to +10
<input checked="" type="checkbox"/>	ao1		Dev1	Voltage	-10 to +10

Number of ports: 1 per channel

Output sample rate (samples/second): 100
Actual rate will be 100 samples per second.

Schemat blokowy Matlab-Simulink z obsługą wejść i wyjść analogowych karty NI USB 6002



Klasyczne równanie różnicowe filtra I rzędu, które odpowiada członowi inercyjnemu I rzędu

$$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = Kx(t)$$

$$y[k] = a y[k-1] + b x[k]$$

$$a = e^{-T_s T}, b = K(1 - e^{-T_s T})$$

Dla dyskretyzacji z próbkowaniem T_s i dokładnym modelem ZOH dostajemy:

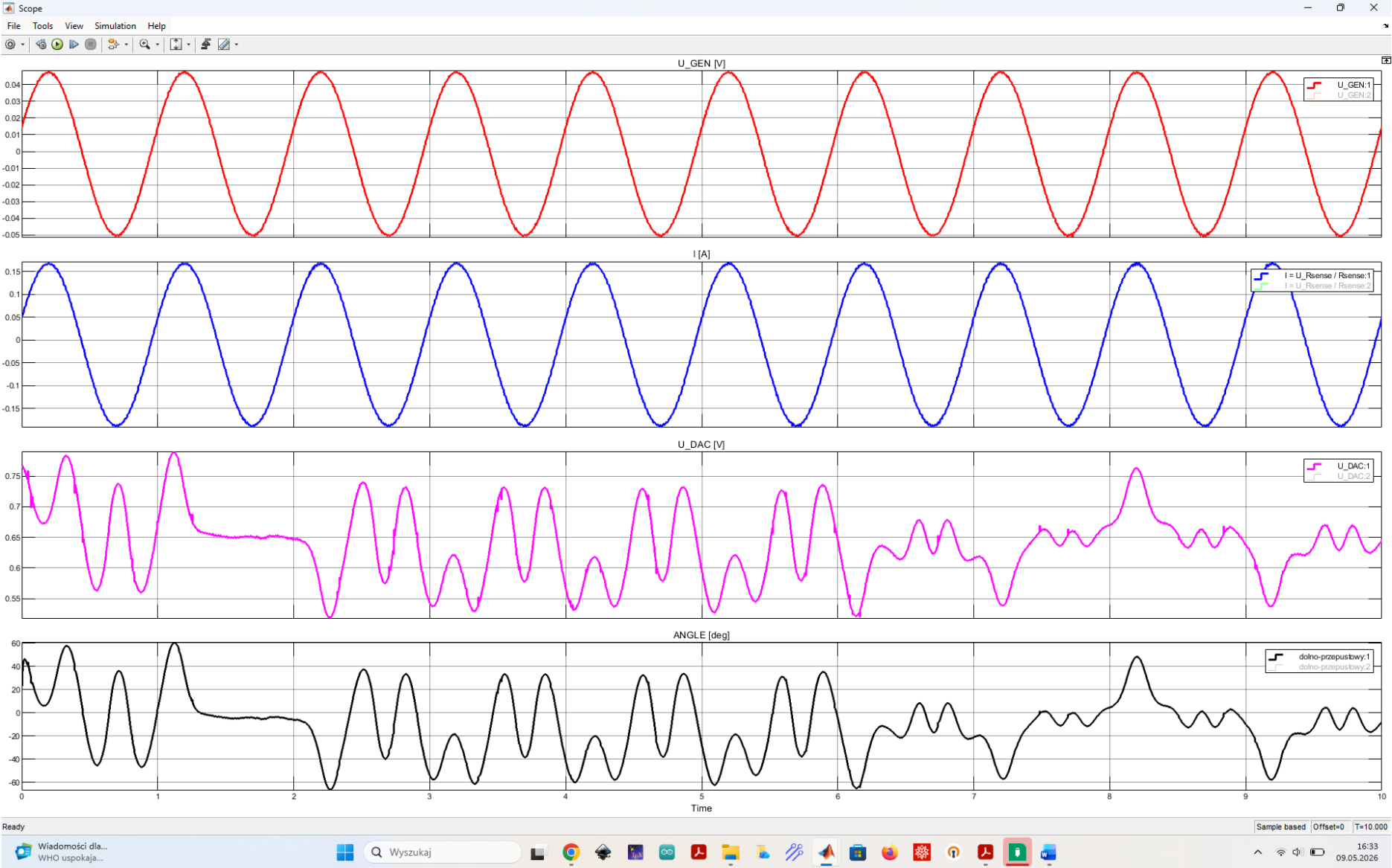
$$y[k] = a y[k-1] + b x[k]$$

gdzie

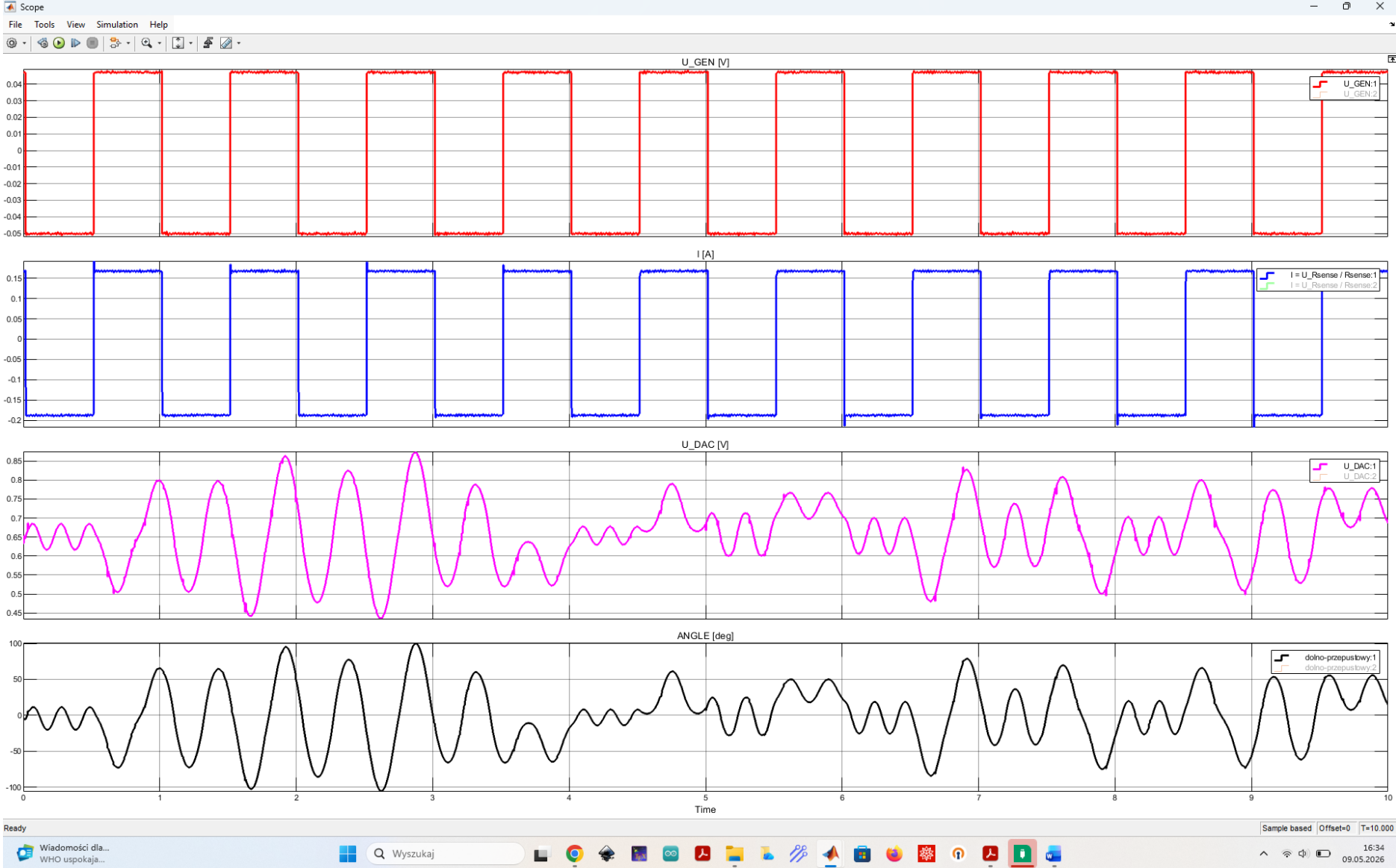
$$a = e^{-T_s T}, \quad b = K(1 - e^{-T_s T})$$

To jest klasyczne równanie różnicowe filtra I rzędu odpowiadającego członowi inercyjnemu I rzędu.

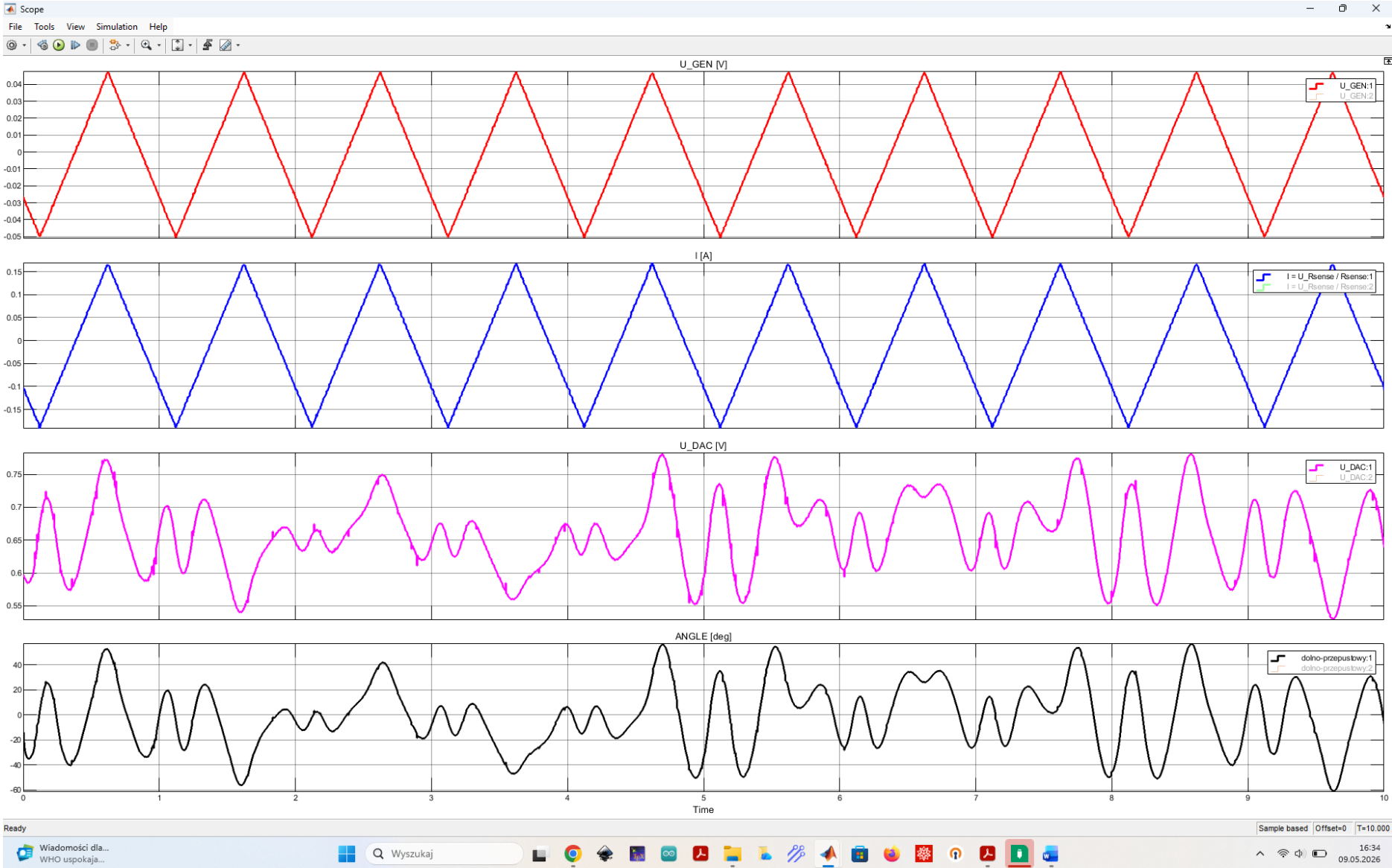
Inne przykłady (drgania wymuszone SINUS)



Inne przykłady (drgania wymuszone PROSTOKĄT)



Inne przykłady (drżania wymuszone TRÓJKĄT)



Inne przykłady (drżania wymuszone SINUS)

