

KOMPUTEROWE SYSTEMY POMIAROWE

Dr inż. Eligiusz PAWŁOWSKI

Politechnika Lubelska

Wydział Elektrotechniki i Informatyki

Prezentacja do wykładu dla EMST - ITE

Semestr zimowy

Wykład nr 6



Prawo autorskie

Niniejsze materiały podlegają ochronie zgodnie z **Ustawą o prawie autorskim i prawach pokrewnych** (Dz.U. 1994 nr 24 poz. 83 z późniejszymi zmianami).

Materiał ten udostępniam **do celów dydaktycznych** jako materiały pomocnicze do wykładu z przedmiotu Komputerowe Systemy Pomiarowe prowadzonego dla studentów Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej. Mogą z nich również korzystać inne osoby zainteresowane tą tematyką. Do tego celu materiały te można **bez ograniczeń przeglądać, drukować i kopiować wyłącznie w całości**.

Wykorzystywanie tych materiałów bez zgody autora w inny sposób i do innych celów niż te, do których zostały udostępnione, **jest zabronione**.

W szczególności **niedopuszczalne jest**: usuwanie nazwiska autora, edytowanie treści, kopiowanie fragmentów i wykorzystywanie w całości lub w części do własnych publikacji.

Eligiusz Pawłowski

Uwagi dydaktyczne

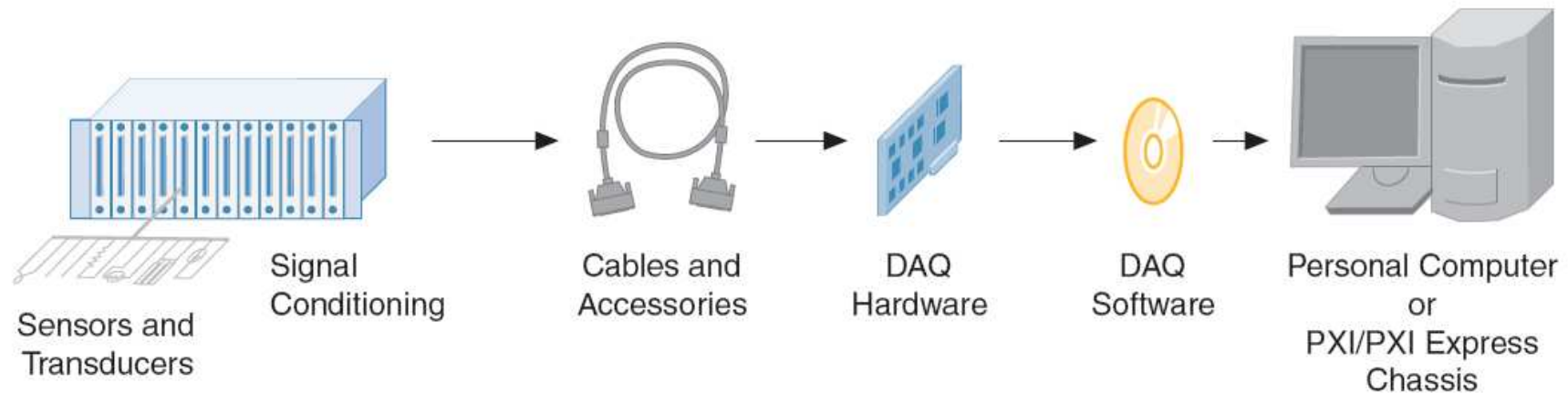
Niniejsza prezentacja stanowi **tylko i wyłącznie materiały pomocnicze** do wykładu z przedmiotu Komputerowe Systemy Pomiarowe prowadzonego dla studentów Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej. Udostępnienie studentom tej prezentacji nie zwalnia ich z konieczności sporządzania **własnych notatek z wykładów** ani też nie zastępuje **samodzielnego studiowania** obowiązujących podręczników.

Tym samym zawartość niniejszej prezentacji w szczególności **nie może być** traktowana jako zakres materiału obowiązujący na egzaminie.

Na egzaminie obowiązujący jest **zakres materiału faktycznie wyłożony podczas wykładu** oraz zawarty w odpowiadających mu fragmentach **podręczników** podanych w wykazie literatury do wykładu.

Eligiusz Pawłowski

Ogólna struktura KSP opartego na magistrali komputera



Realizacja KSP z wykorzystaniem komputerowej karty pomiarowej
Data Acquisition Card – DAQ Card (National Instruments)

Magistrala wewnętrzna komputera jako System Interfejsu KSP

Charakterystyka **Podsystemu Akwizycji Danych**

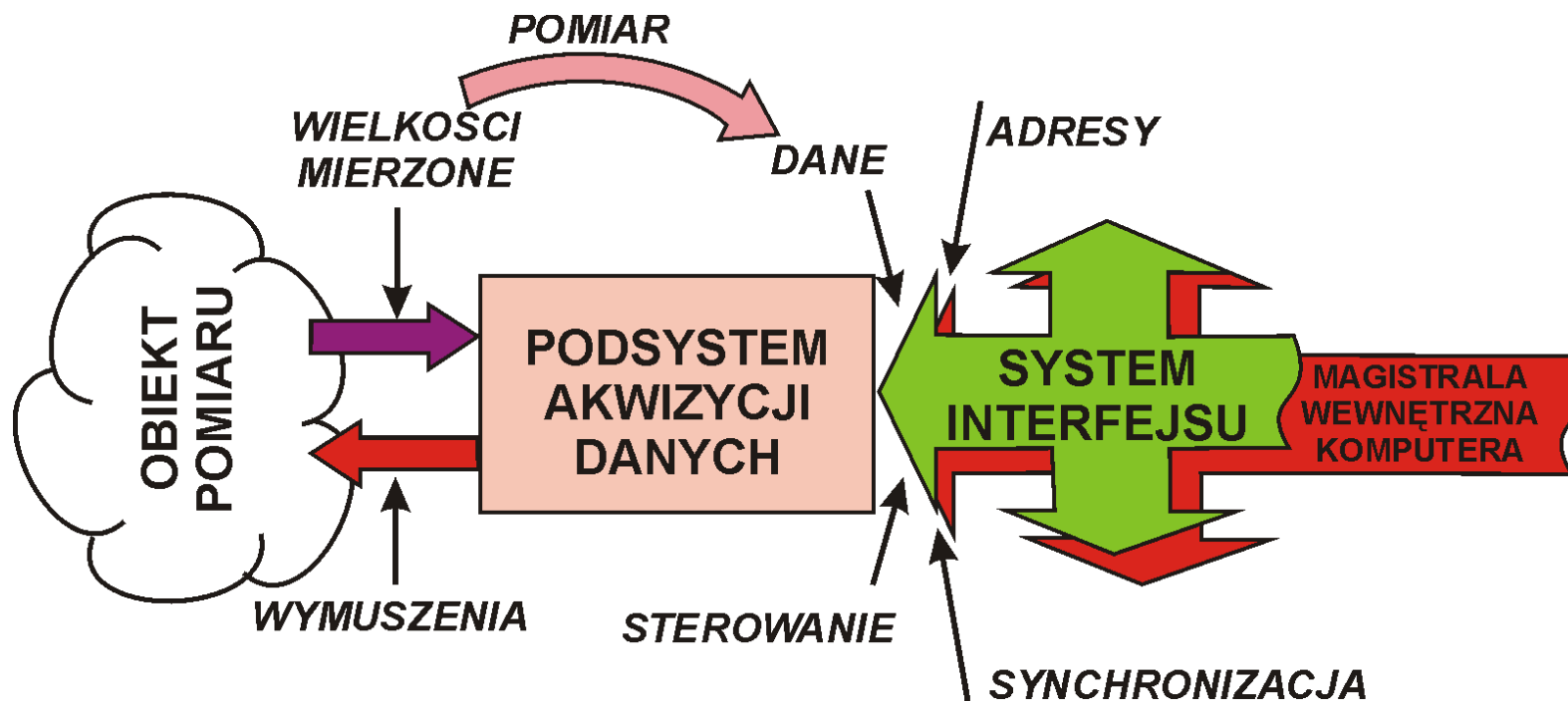
Od strony **Obiektu Pomiaru** :

- 1-wielkości mierzone (liczba i rodzaje czujników)
- 2-wymuszenia (liczba i rodzaje zadajników)

Od strony **Systemu Interfejsu** :

- 3-dane (format, ilość)
- 4-adresy (dostępna i wykorzystywana przestrzeń)
- 5-sterowanie (sygnały odczytu i zapisu)
- 6-synchronizacja (przerwania, DMA, itp)

Magistrala wewnętrzna komputera jako system interfejsu KSP



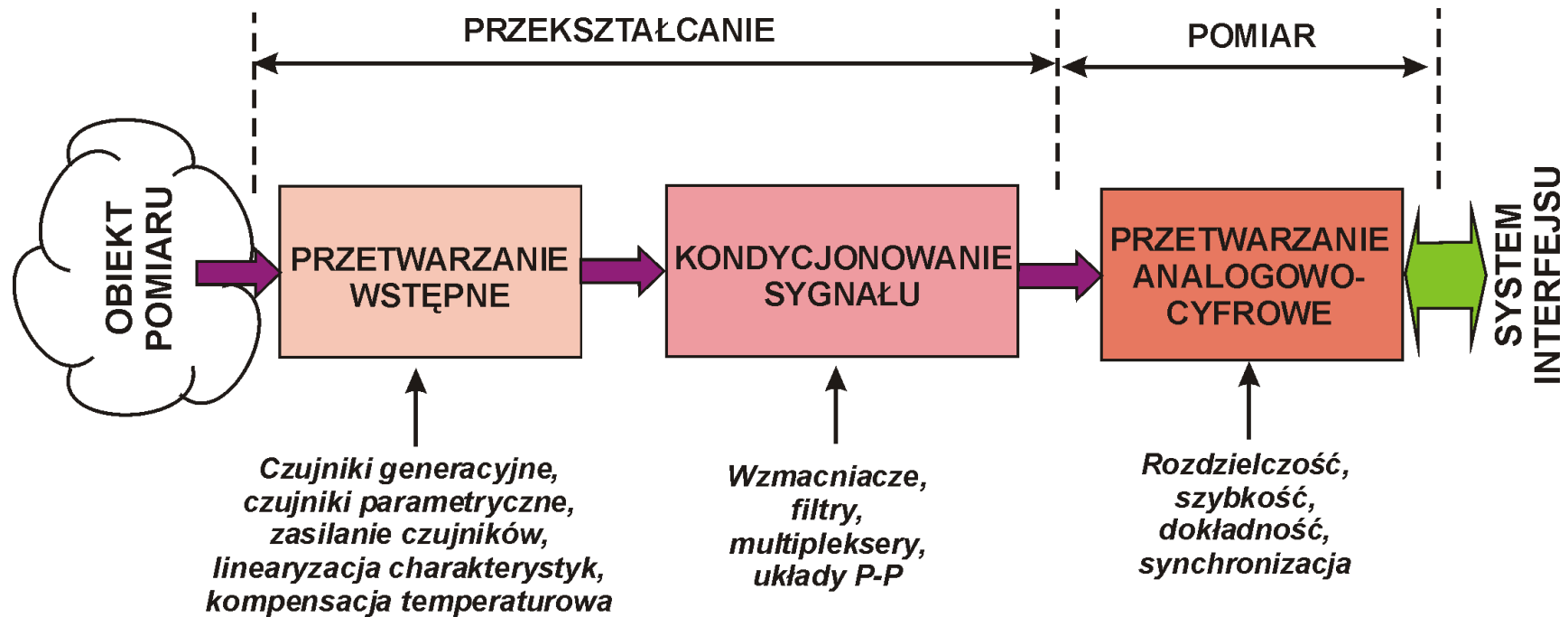
Charakterystyka podsystemu akwizycji danych od strony **obiekty pomiaru** i od strony **systemu interfejsu**

Funkcje Podsystemu Akwizycji Danych

Funkcje **Podsystemu Akwizycji Danych**

- 1-Przetwarzanie wstępne** (czujniki parametryczne i generacyjne, zasilanie czujników, linearyzacja charakterystyk, kompensacja temperaturowa itp.)
- 2-Kondycjonowanie sygnałów** (wzmacniacze, filtry, układy próbkująco-pamiętające, multipleksery)
- 3-Przetwarzanie analogowo-cyfrowe** (rozdzielczość, szybkość, dokładność, synchronizacja)

Funkcje Podsystemu Akwizycji Danych



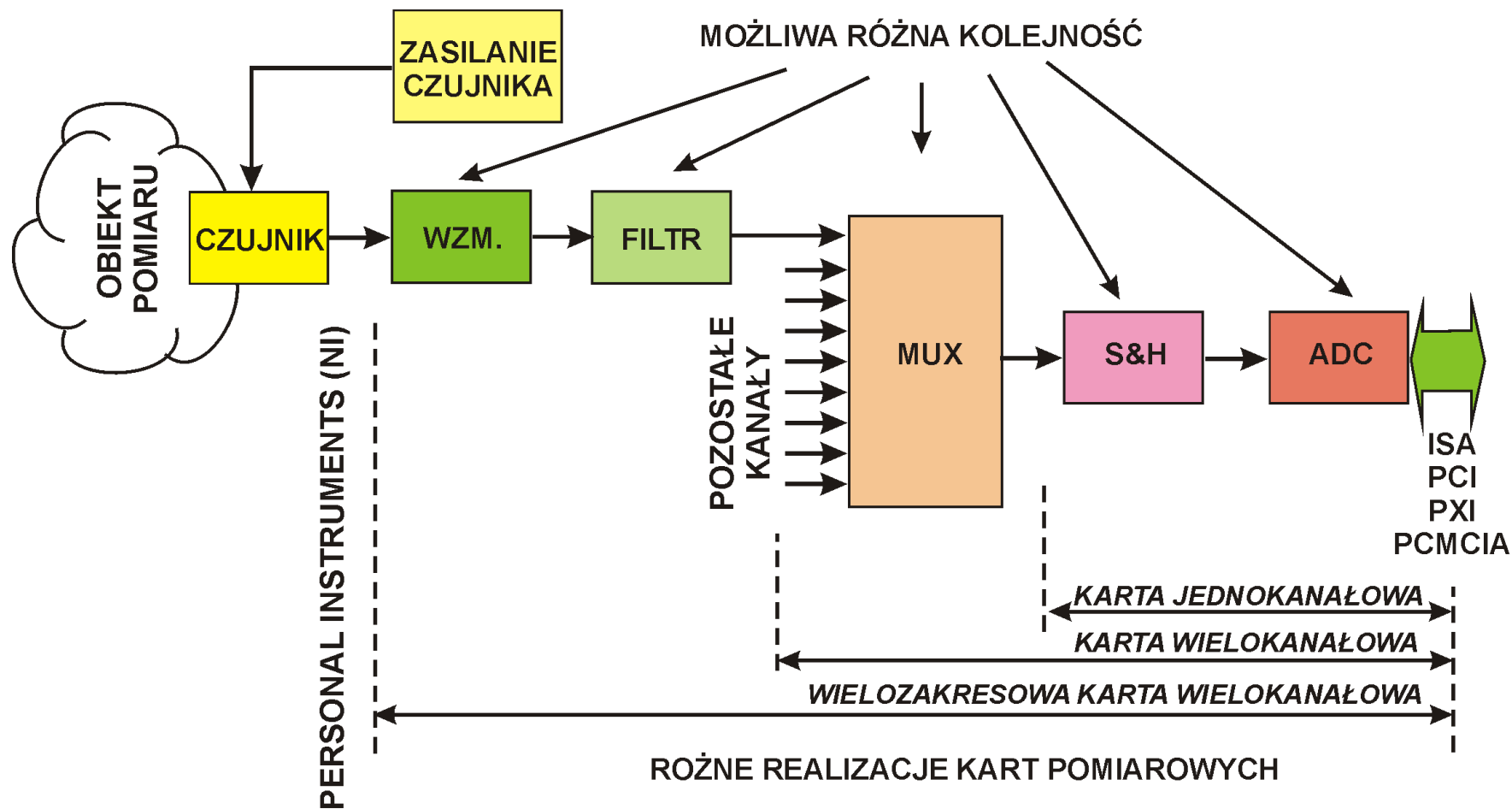
Funkcje Podsystemu Akwizycji Danych

Realizacja Podsystemu Akwizycji Danych – *DAQ Card*

Data Acquisition Card – typowe wyposażenie toru analogowego:

- 1-przetwornik analogowo – cyfrowy ADC (jeden lub kilka),
- 2-układ próbkująco – pamiętający S&H (jeden lub kilka),
- 3-multiplekser (analogowy lub cyfrowy, zależnie od miejsca),
- 4-filtry (dolnoprzepustowe, pasmowo-zaporowe, pasmowo-przepustowe),
- 5-wzmacniacze (symetryczne, niesymetryczne),
- 6-układy zasilania czujników (prądowe, napięciowe),
- 7-układy izolacji galwanicznej,
- 8-układy zabezpieczające (ESD, przeciwprzeciążeniowe).

Realizacja Podsystemu Akwizycji Danych – *DAQ Card*



Data Acquisition Card – typowe wyposażenie toru analogowego

Przyrządy pomiarowe klasy Personal Instruments (NI)



Źródło: Agilent, <http://www.agilent.com>

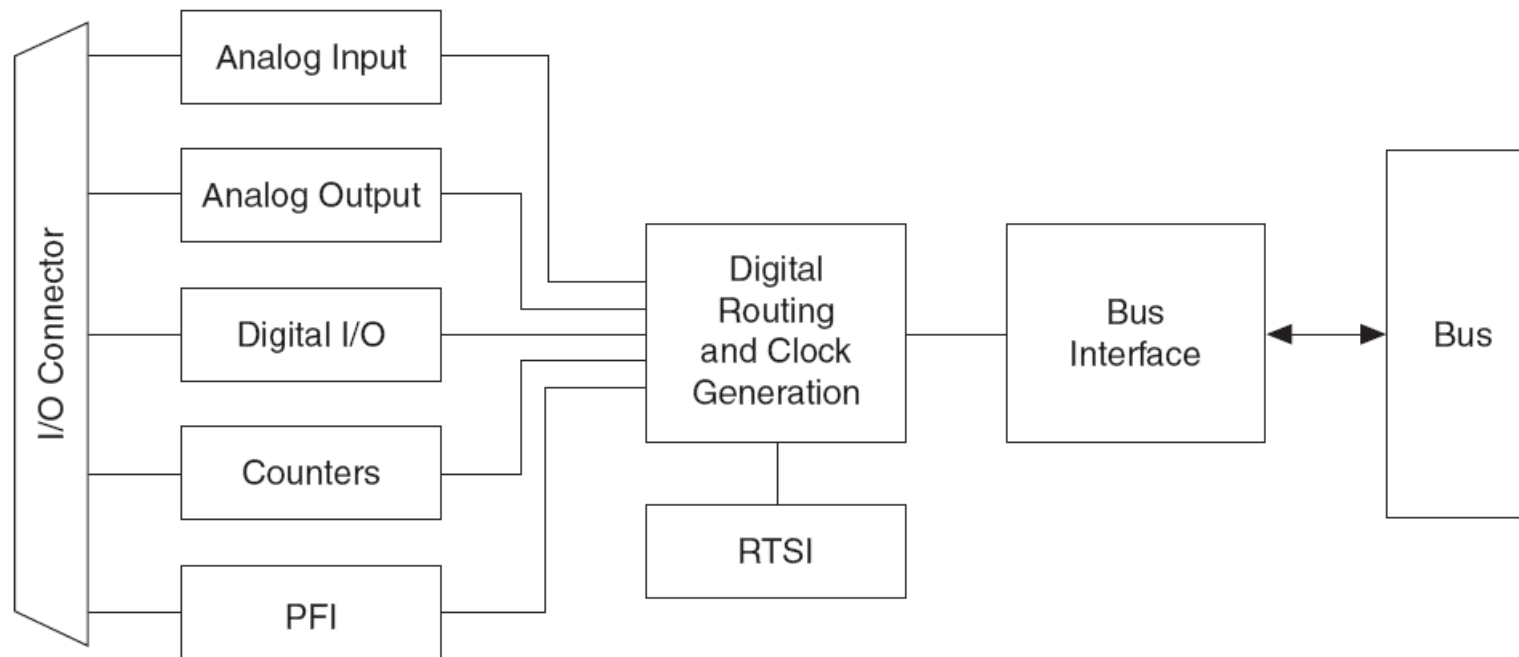
Zasada działania woltomierza cyfrowego klasy Personal Instruments

DAQ Card – pozostałe wyposażenie

Data Acquisition Card – typowe wyposażenie karty pomiarowej:

- 1-tor wejściowy analogowy *Analog Input*,
- 2-tor wyjściowy analogowy *Analog Output*,
- 3-tor wejścia - wyjścia cyfrowy *Digital I/O*
- 4-programowalny tor cyfrowy *Programmable Function Interface (PFI)*,
- 5-układy licznikowe,
- 6-generator zegarowy i układy synchronizacji-*Real-Time System Integration (RTSI)*,
- 7-układy izolacji galwanicznej,
- 8-układy zabezpieczające (ESD, przeciwprzeciążeniowe),
- 9-układy interfejsu magistrali komputera.

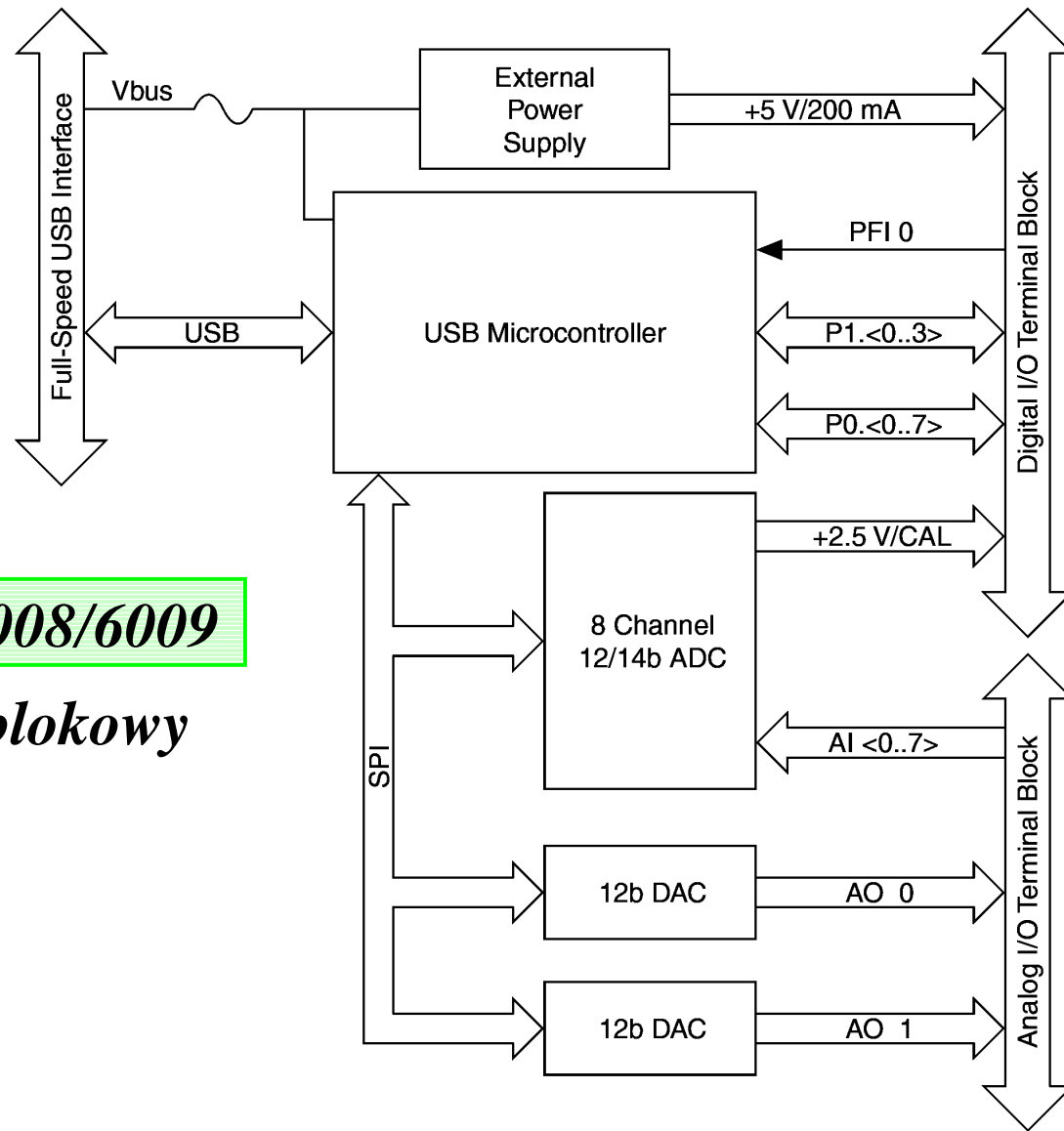
DAQ Card – pozostałe wyposażenie



Źródło: National Instruments, <http://www.ni.com/>

Data Acquisition Card – typowe wyposażenie karty pomiarowej

DAQ Card – przykład NI USB-6008/6009



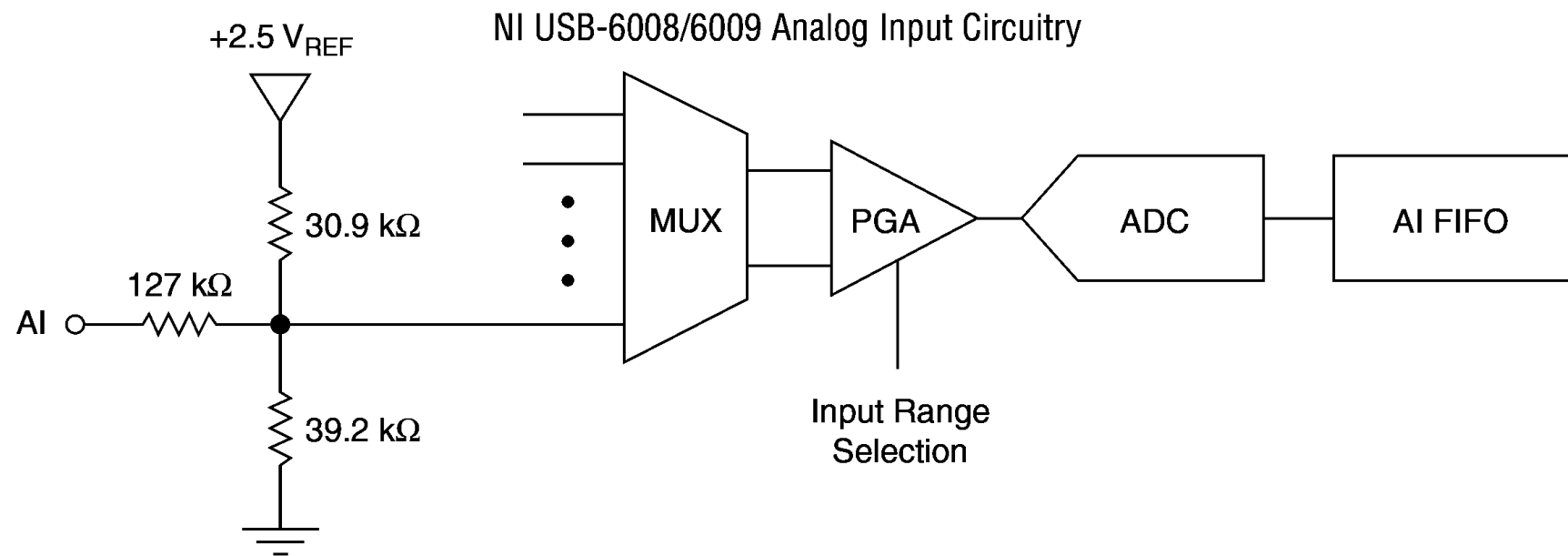
NI USB-6008/6009

schemat blokowy

Przykład NI USB-6008/6009 – zestawienie wejść/wyjść

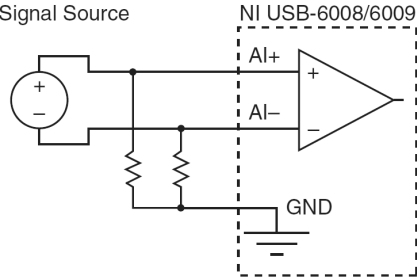
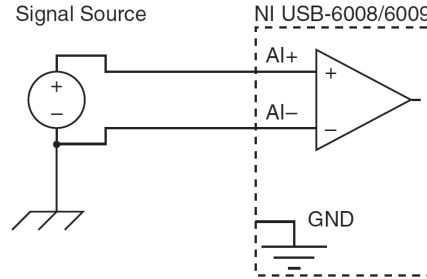
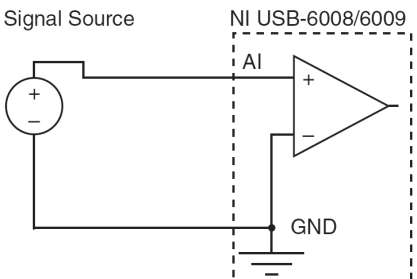
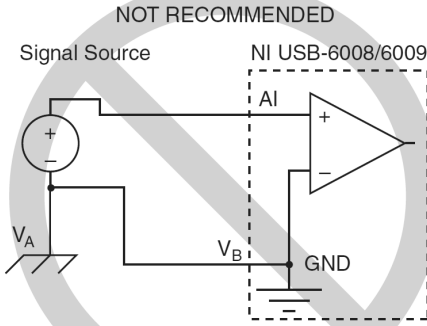
Signal Name	Reference	Direction	Description
GND	—	—	Ground —The reference point for the single-ended analog input measurements, analog output voltages, digital signals, +5 VDC supply, and +2.5 VDC at the I/O connector, and the bias current return point for differential mode measurements.
AI <0..7>	Varies	Input	Analog Input Channels 0 to 7 —For single-ended measurements, each signal is an analog input voltage channel. For differential measurements, AI 0 and AI 4 are the positive and negative inputs of differential analog input channel 0. The following signal pairs also form differential input channels: AI<1, 5>, AI<2, 6>, and AI<3, 7>. Refer to the <i>Analog Input</i> section for more information.
AO <0, 1>	GND	Output	Analog Output Channels 0 and 1 —Supplies the voltage output of AO channel 0 or AO channel 1. Refer to the <i>Analog Output</i> section for more information.
P0.<0..7>	GND	Input or Output	Port 0 Digital I/O Channels 0 to 7 —You can individually configure each signal as an input or output. Refer to the <i>Digital I/O</i> section for more information.
P1.<0..3>	GND	Input or Output	Port 1 Digital I/O Channels 0 to 3 —You can individually configure each signal as an input or output. Refer to the <i>Digital I/O</i> section for more information.
PFI 0	GND	Input	PFI 0 —This pin is configurable as either a digital trigger or an event counter input. Refer to the <i>PFI 0</i> section for more information.
+2.5 V	GND	Output	+2.5 V External Reference —Provides a reference for wrap-back testing. Refer to the <i>+2.5 V External Reference</i> section for more information.
+5 V	GND	Output	+5 V Power Source —Provides +5 V power up to 200 mA. Refer to the <i>+5 V Power Source</i> section for more information.

Przykład NI USB-6008/6009 – wejście analogowe



NI USB-6008/6009 *analogowy tor wejściowy*

NI USB-6008/6009 – konfiguracja wejść analogowych

<p>Analog Input Mode</p>	<p>Floating Signal Sources (Not Connected to Building Ground)</p> <p>Examples:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ungrounded thermocouples • Signal conditioning with isolated outputs • Battery devices 	<p>Ground-Referenced Signal Sources</p> <p>Example:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Plug-in instruments with non-isolated outputs
<p>Differential (DIFF)</p>	<p>Signal Source</p> 	<p>Signal Source</p> 
<p>Referenced Single-Ended (RSE)</p>	<p>Signal Source</p> 	<p>NOT RECOMMENDED</p>  <p>Ground-loop potential ($V_A - V_B$) are added to measured signal.</p>

NI USB-6008/6009 – zakresy napięć wejściowych i błędy

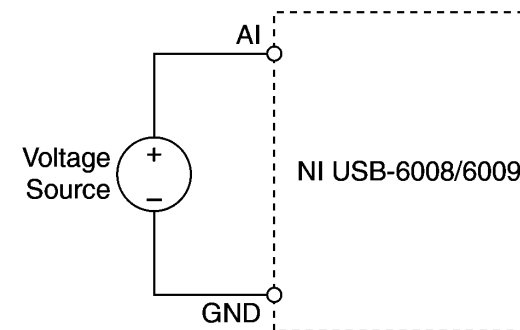
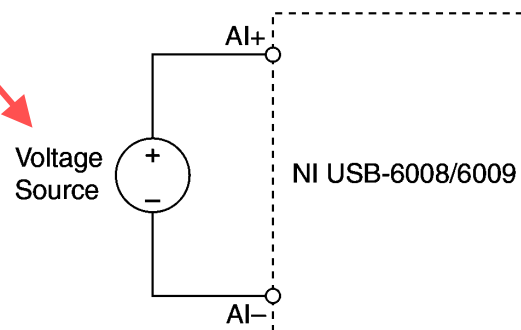
Range (V)	Typical at 25 °C (mV)	Maximum over Temperature (mV)
±20	14.7	138
±10	7.73	84.8
±5	4.28	58.4
±4	3.59	53.1
±2.5	2.56	45.1
±2	2.21	42.5
±1.25	1.70	38.9
±1	1.53	37.5

Absolute accuracy at full scale,

differential

Connecting a Differential Voltage Signal

Connecting a Referenced Single-Ended Voltage Signal



Range (V)	Typical at 25 °C (mV)	Maximum over Temperature (mV)
±10	14.7	138

Absolute accuracy at full scale,

single-ended

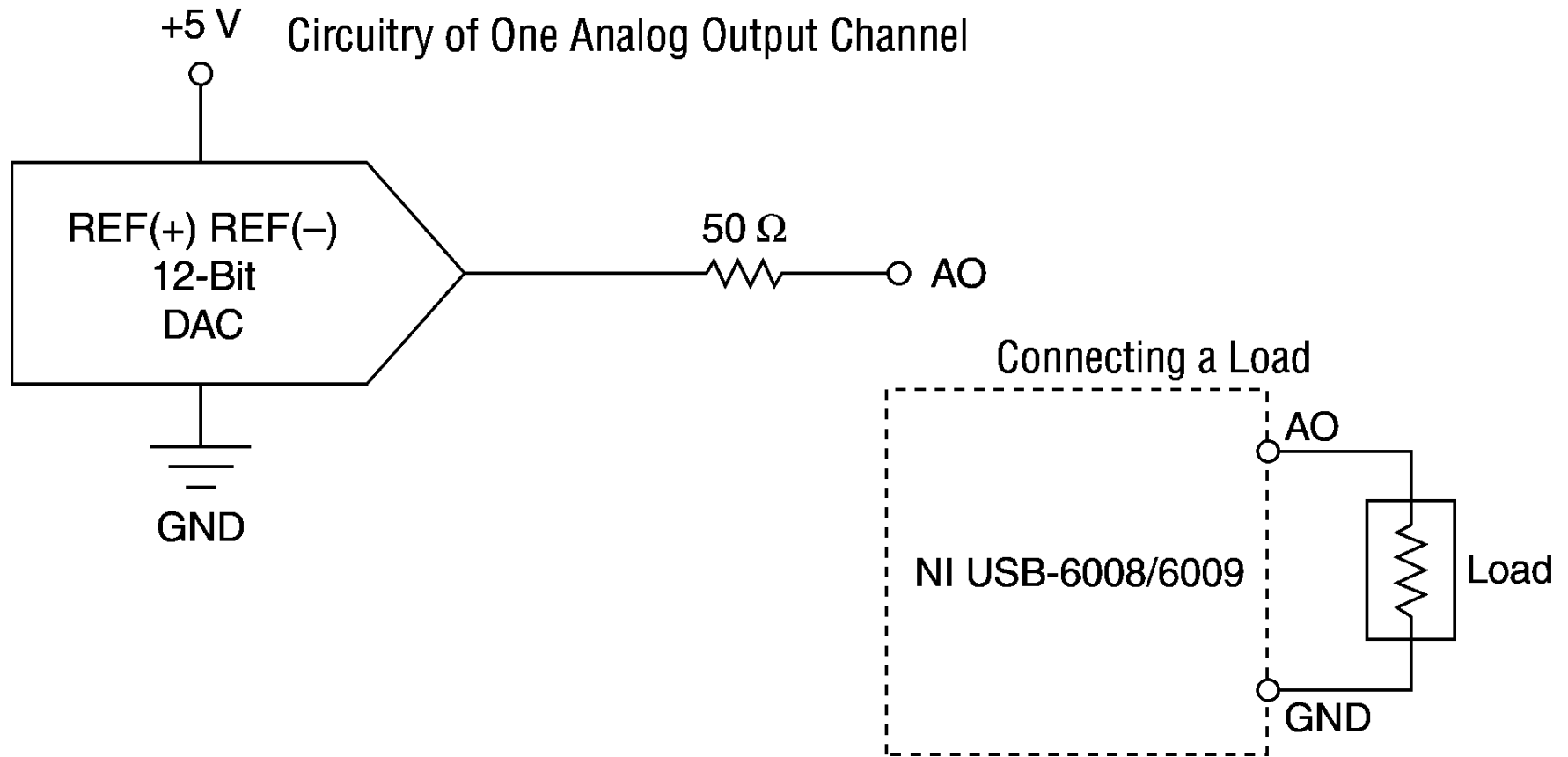
KSP, tydzień 6

dr inż. Eligiusz Pawłowski

18

Źródło: National Instruments, <http://www.ni.com/>

Przykład NI USB-6008/6009 – wyjście analogowe



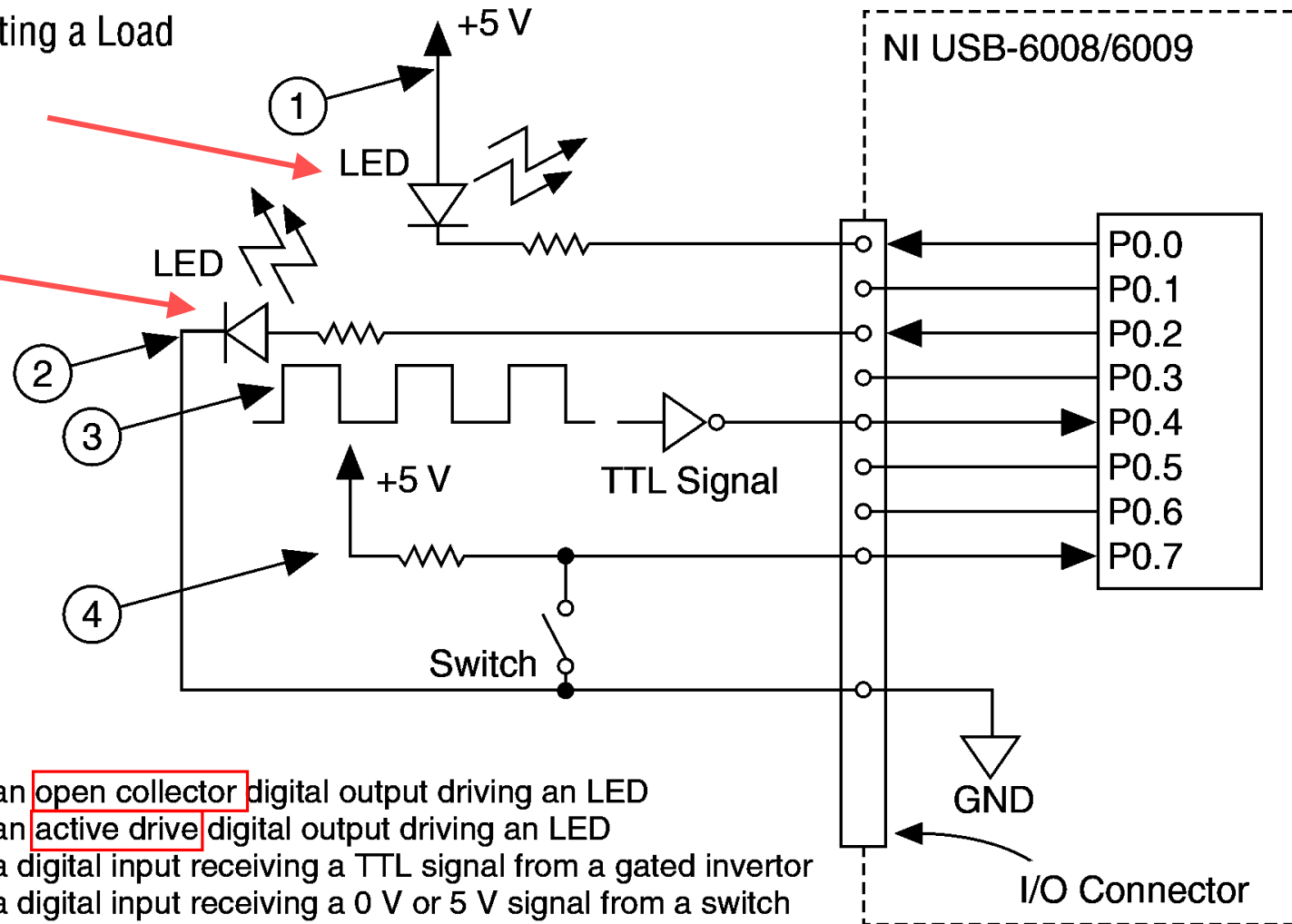
NI USB-6008/6009 analogowy tor wyjściowy

Przykład NI USB-6008/6009 – wejścia/wyjścia cyfrowe

Example of Connecting a Load

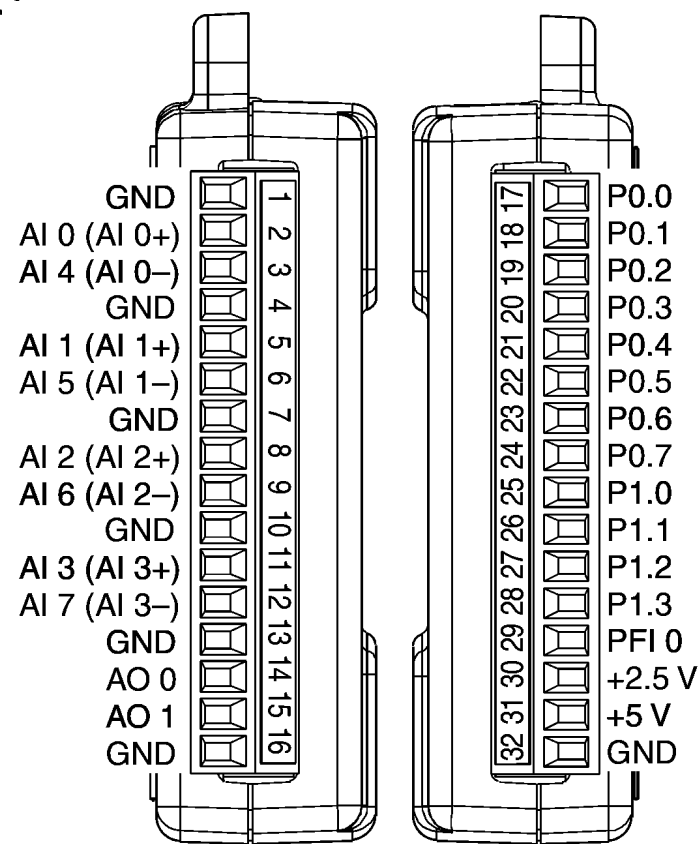
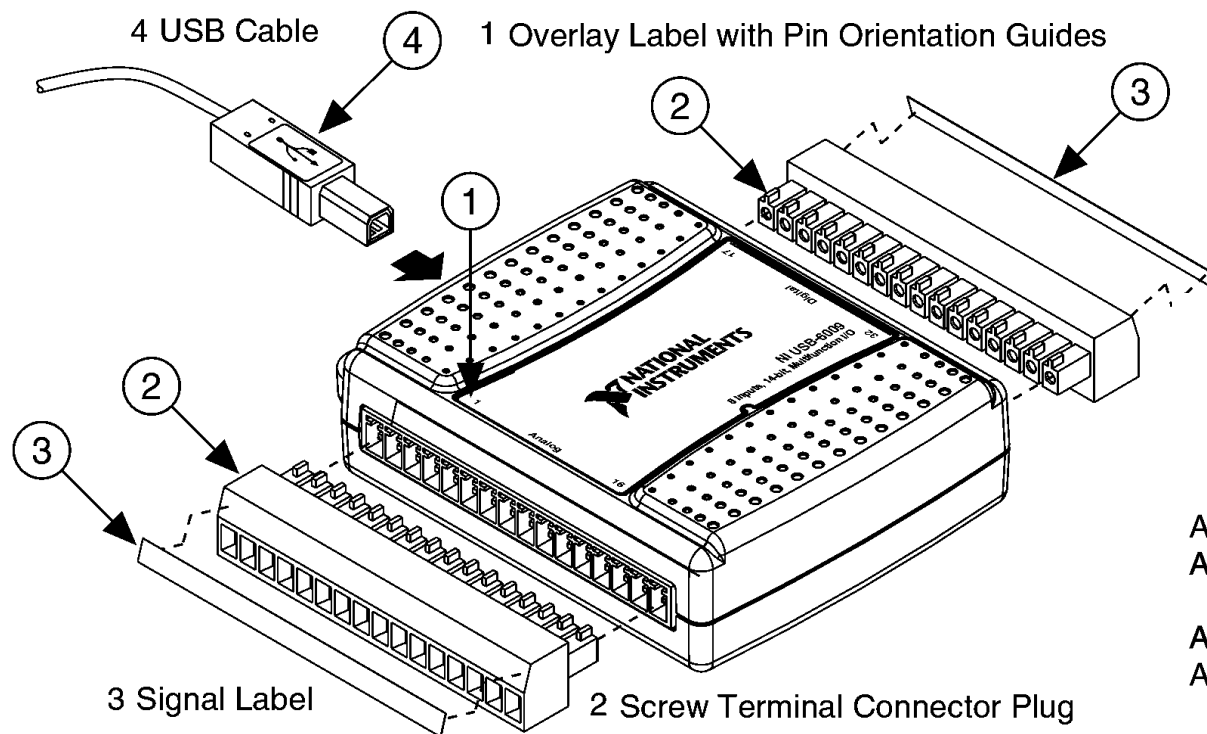
Open collector

Active drive



- 1 P0.0 configured as an open collector digital output driving an LED
- 2 P0.2 configured as an active drive digital output driving an LED
- 3 P0.4 configured as a digital input receiving a TTL signal from a gated inverter
- 4 P0.7 configured as a digital input receiving a 0 V or 5 V signal from a switch

Przykład NI USB-6008/6009 – złącza



Przykład NI USB-6008/6009 – podstawowe parametry

Feature	NI USB-6008	NI USB-6009
AI resolution	12 bits differential, 11 bits single-ended	14 bits differential, 13 bits single-ended
Maximum AI sample rate, single channel*	10 kS/s	48 kS/s
Maximum AI sample rate, multiple channels (aggregate)*	10 kS/s	48 kS/s
DIO configuration	Open collector [†]	Each channel individually programmable as open collector or active drive [†]
<p>* System-dependent. [†] This document uses NI-DAQmx naming conventions. Open-drain is called open collector and push-pull is called active drive.</p>		

Źródło: National Instruments, <http://www.ni.com/>

Podstawowe parametry przetworników A/C

- 1-rozdzielczość (liczba bitów, liczba poziomów kwantowania)
- 2-zakres napięć wejściowych (minimalne, maksymalne, zakres)
- 3-błędy przetwarzania (analogowe i cyfrowe)
- 4-szybkość przetwarzania (liczba próbek na sekundę, SPS)
- 5-metoda synchronizacji (wewnętrzna, zewnętrzna)
- 6-zasada działania (całkujące, kompensacyjne, bezpośrednie ...)
- 7-tłumienie zakłóceń (szeregowych i równoległych)
- 8-inne

Rozdzielczość przetwornika A/C (*Resolution*)

1. Liczba bitów: **n**

n=6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 24 (najczęściej spotykane, parzyste)

2. Liczba poziomów kwantowania: **N**

$$N = 2^n$$

n	N	N w przybliżeniu
6	64	<100
8	256	0,25 × 10 ³
10	1 024	1 × 10 ³
12	4 096	4 × 10 ³
16	65 536	65 × 10 ³
24	16 777 216	16 × 10 ⁶

Zakres napięć wejściowych przetwornika A/C

1-Zakresy unipolarne (niesymetryczne)

$$U_{\min}=0$$

$$U_{\max}=200\text{mV}, 1\text{V}, 2\text{V}, 5\text{V}, 10\text{V} \text{ (ew. +5\%)} \text{ lub}$$

$$U_{\max}=1.024\text{V}, 4.096\text{V}, 10.24\text{V}$$

2-Zakresy bipolarne (symetryczne)

$$U_{\min} = -U_{\max}$$

$$U_{\max}=200\text{mV}, 1\text{V}, 2\text{V}, 5\text{V}, 10\text{V} \text{ (ew. +5\%)} \text{ lub}$$

$$U_{\max}=1.024\text{V}, 4.096\text{V}, 10.24\text{V}$$

Pełny zakres napięciowy **FSR** (*Full Scale Range*)

$$\mathbf{FSR} = U_{\max} - U_{\min}$$

Błędy przetwarzania przetwornika A/C

Błędy kwantowania: bezwzględny Δ_{kw} i względny δ_{kw}

Błąd analogowy: bezwzględny Δ_{analog} i względny δ_{analog}

Błąd całkowity graniczny: bezwzględny Δ_{gr} i względny δ_{gr}



$$\Delta_{gr} = \Delta_{an} + \Delta_{kw}$$

Absolute accuracy at full scale !!!???

accuracy = dokładność ≠ błąd

$$\delta_{gr} = \frac{\Delta_{an} + \Delta_{kw}}{U_x} 100\%$$

Najdokładniej jest na końcu zakresu!

Błąd kwantowania przetwornika A/C

Błąd kwantowania bezwzględny Δ_{kw} - jest niezależny od U_x

$$\Delta_{kw} = \frac{FSR}{N} = \frac{FSR}{2^n}$$

Błąd kwantowania względny δ_{kw} - jest stały odniesiony do zakresu

$$\delta_{kw} = \frac{\Delta_{kw}}{FSR} \cdot 100\% = \frac{1}{N} \cdot 100\% = \frac{1}{2^n} \cdot 100\%$$

Błąd kwantowania ma charakter addytywny - jest niezależny od U_x

Przykładowe błędy kwantowania przetwornika A/C

Przykładowe wartości dla **FSR=10V**

n	N	N w przybliżeniu	Δ_{kw}	δ_{kw}
-	-	-	mV	%
6	64	<100	~ 160	~ 1,5
8	256	$0,25 \times 10^3$	~ 40	~ 0,4
10	1 024	1×10^3	~ 10	~ 0,1
12	4 096	4×10^3	~ 2,5	~ 0,025
16	65 536	65×10^3	~ 0,15	~ 0,001
24	16 777 216	16×10^6	~ 0,0006	~ 0,000 006

Porównanie

klasy mierników analogowych: 2,5 - 1,5 - 1 - 0,5 - 0,2 - 0,1

Błąd analogowy przetwornika A/C

Błąd analogowy względny δ_{an} (stały % odniesiony do U_x)

$$\delta_{an} = \frac{\Delta_{an}}{U_x} 100\%$$

Błąd analogowy bezwzględny Δ_{an} - jest zależny od U_x

$$\Delta_{an} = \frac{\delta_{an}}{100\%} \cdot U_x$$

Błąd analogowy ma charakter multiplikatywny - jest zależny od U_x

Błędy przetwarzania przetwornika A/C - przykład

AI Absolute Accuracy Table

National Instruments PCI 6221

Nominal Range		Residual Gain Error (ppm of Reading)	Gain Tempco (ppm/°C)	Reference Tempco	Residual Offset Error (ppm of Range)	Offset Tempco (ppm of Range/°C)	INL Error (ppm of Range)	Random Noise, σ (μVrms)	Absolute Accuracy at Full Scale ¹ (μV)	Sensitivity ² (μV)
Positive Full Scale	Negative Full Scale									
10	-10	75	25	5	20	57	76	244	3,100	97.6
5	-5	85	25	5	20	60	76	122	1,620	48.8
1	-1	95	25	5	25	79	76	30	360	12.0
0.2	-0.2	135	25	5	80	175	76	13	112	5.2

$$\text{AbsoluteAccuracy} = \text{Reading} \cdot (\text{GainError}) + \text{Range} \cdot (\text{OffsetError}) + \text{NoiseUncertainty}$$

$$\text{GainError} = \text{ResidualAIGainError} + \text{GainTempco} \cdot (\text{TempChangeFromLastInternalCal}) + \text{ReferenceTempco} \cdot (\text{TempChangeFromLastExternalCal})$$

$$\text{OffsetError} = \text{ResidualAIOffsetError} + \text{OffsetTempco} \cdot (\text{TempChangeFromLastInternalCal}) + \text{INL_Error}$$

$$\text{NoiseUncertainty} = \frac{\text{RandomNoise} \cdot 3}{\sqrt{100}} \quad \text{For a coverage factor of } 3 \sigma \text{ and averaging 100 points.}$$

¹ Absolute accuracy at full scale on the analog input channels is determined using the following assumptions:

TempChangeFromLastExternalCal = 10 °C

TempChangeFromLastInternalCal = 1 °C

number_of_readings = 100

CoverageFactor = 3 σ

For example, on the 10 V range, the absolute accuracy at full scale is as follows:

$$\text{GainError} = 75 \text{ ppm} + 25 \text{ ppm} \cdot 1 + 5 \text{ ppm} \cdot 10 \quad \text{GainError} = 150 \text{ ppm}$$

$$\text{OffsetError} = 20 \text{ ppm} + 57 \text{ ppm} \cdot 1 + 76 \text{ ppm} \quad \text{OffsetError} = 153 \text{ ppm}$$

$$\text{NoiseUncertainty} = \frac{244 \mu\text{V} \cdot 3}{\sqrt{100}} \quad \text{NoiseUncertainty} = 73 \mu\text{V}$$

$$\text{AbsoluteAccuracy} = 10 \text{ V} \cdot (\text{GainError}) + 10 \text{ V} \cdot (\text{OffsetError}) + \text{NoiseUncertainty} \quad \text{AbsoluteAccuracy} = 3,100 \mu\text{V}$$

² Sensitivity is the smallest voltage change that can be detected. It is a function of noise.

Accuracies listed are valid for up to one year from the device external calibration.

Źródło: National Instruments, <http://www.ni.com/>

Błąd analogowy multiplikatywny

Błąd kwantowania addytywny

Błędy przypadkowe - szумы

Szybkość przetwarzania przetwornika A/C

Szybkość przetwarzania (*sampling rate*):

liczba przetworzeń (próbek) na jednostkę czasu (sekundę)

Samples Per Seconds – **SPS** (z przedrostkami kilo-, mega-, giga-)

wolne przetworniki : kilka ... kilkanaście **SPS**

przetworniki audio : do kilkudziesięciu **kSPS**

przetworniki video: do kilku **MSPS**

najszybsze przetworniki : kilkanaście **GSPS**

Szybkość przetwarzania – twierdzenie o próbkowaniu

Szybkość przetwarzania przetwornika A/C należy dobrać odpowiednio do szybkości zmian przetwarzanego sygnału.

Twierdzenie o próbkowaniu

Sygnał o ograniczonym paśmie nie mający składowych widma o częstotliwości większej niż f_{max} jest jednoznacznie określony przez swoje wartości chwilowe (próbki) leżące w równych odstępach czasu T_s mniejszych niż:

$$T_s < \frac{1}{2f_{max}}$$

Twierdzenie o próbkowaniu - wniosek

$$\frac{1}{SPS} = T_s < \frac{1}{2f_{\max}}$$

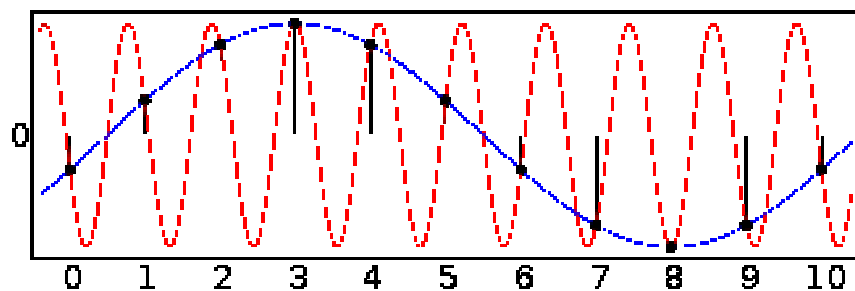
Wniosek: szybkość próbkowania SPS musi być co najmniej dwukrotnie większa od maksymalnej częstotliwości sygnału:

$$SPS > 2f_{\max}$$

tzn. co najmniej dwie próbki sygnału muszą być pobrane w każdym okresie składnika sygnału o najwyższej częstotliwości.

Twierdzenie o próbkowaniu - przykłady

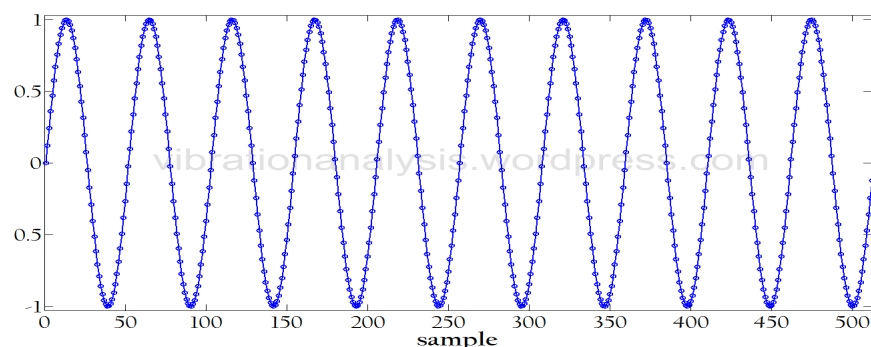
Przykład 1. Sygnał próbkowany zbyt wolno: $SPS < 2f_{max}$



Wniosek: sygnał odtworzony z próbek pobranych zbyt wolno jest zupełnie inny niż sygnał próbkowany!

11 próbek na 10 okresów sygnału: $f_{max} < SPS < 2f_{max}$

Przykład 2. Sygnał próbkowany poprawnie: $SPS > 2f_{max}$



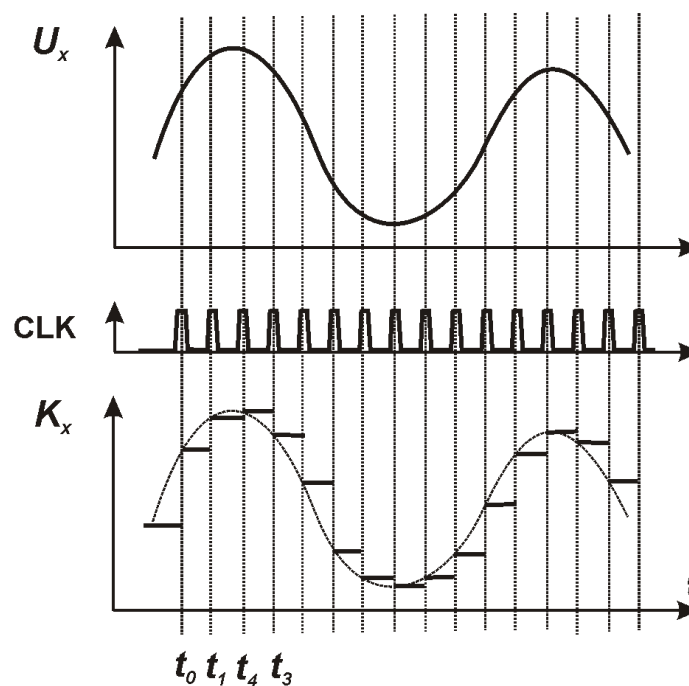
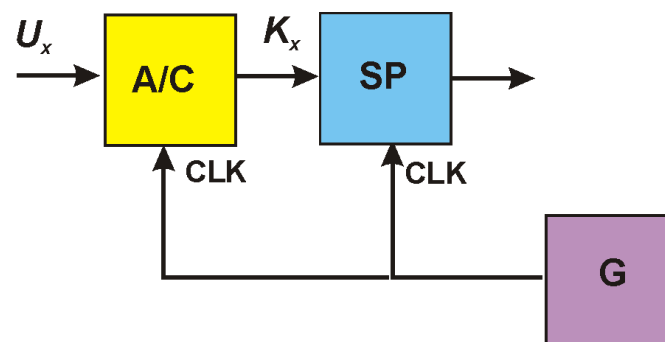
Wniosek: sygnał odtworzony z próbek pobranych odpowiednio szybko jest zgodny z sygnałem próbkowanym!

510 próbek na 10 okresów sygnału: $SPS \gg 2f_{max}$

Metody synchronizacji przetwornika A/C

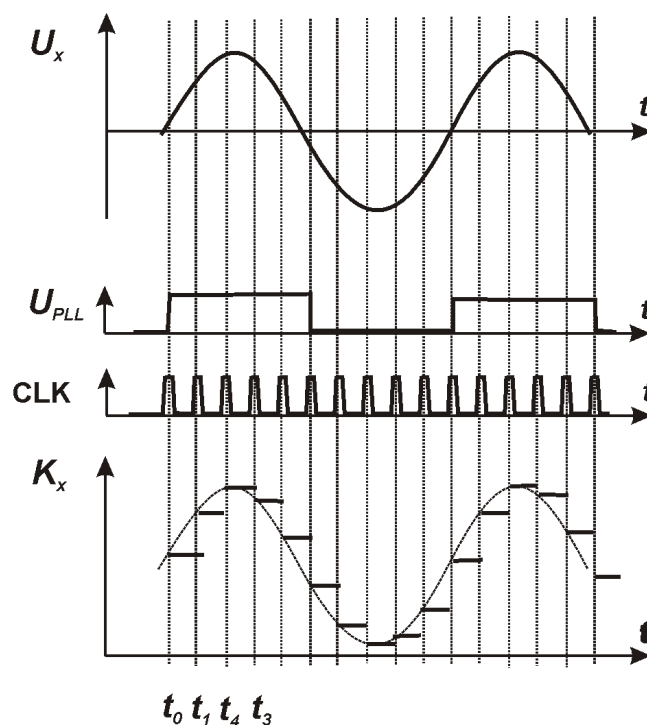
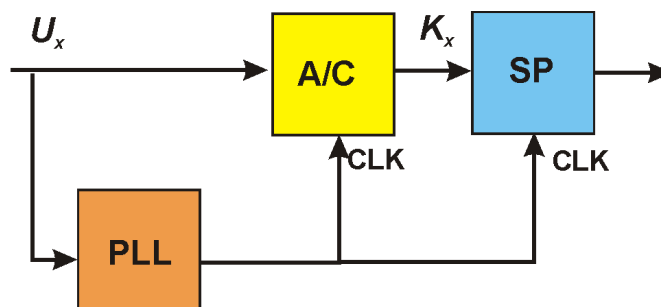
- 1- Synchronizacja własnym sygnałem zegarowym
- 2- Synchronizacja z sygnałem przetwarzanym

Metody synchronizacji przetwornika A/C



Synchronizacja własnym sygnałem zegarowym

Metody synchronizacji przetwornika A/C



Synchronizacja z sygnałem przetwarzanym

Podsumowanie

1. Wybór systemu interfejsu w istotny sposób określa sposób realizacji PAD.
2. W Komputerowym Systemie Pomiarowym z systemem interfejsu opartym na magistrali wewnętrznej komputera (ISA, PCI, PXI, ...) zasadniczym elementem PAD jest karta pomiarowa zainstalowana we wnętrzu komputera (*Data Acquisition Card, DAQ Card*).
3. Współczesna karta pomiarowa zawiera przede wszystkim wejściowy tor analogowy oraz tory cyfrowe, licznikowe i inne zależnie od potrzeb.
4. Zasadniczym elementem wejściowego toru analogowego jest przetwornik analogowo-cyfrowy (*Analog-to-Digital Converter, ADC*).
5. Przetwornik *ADC* jest scharakteryzowany wieloma parametrami, z których najważniejsze to: rozdzielczość, zakres napięciowy, szybkość przetwarzania, błędy przetwarzania.
6. Parametry przetwornika *ADC* muszą być odpowiednio dobrane do przetwarzanego sygnału.

