



**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

**AGH UNIVERSITY OF SCIENCE  
AND TECHNOLOGY**

# **Podstawy techniki analogowej dla S7 1200/1500**

Stanisław Flaga

*stanislaw.flaga@agh.edu.pl*

# Agenda

Świat analogowy.

Przykładowy sterownik S7-1200 z dwoma wejściami analogowymi.

Dane techniczne.

Podłączenie wejścia analogowego.

Charakterystyka przetwarzania wejścia analogowego.

Konwersja z liczby n bitowej na 15 bitową.

Minimalna zmiana wartości rejestru.

Przykład.

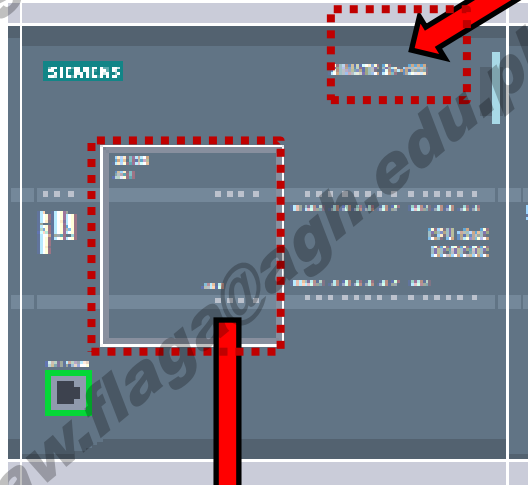
# Dlaczego analog w cyfrowym świecie?

Dzisiejszy świat systemów sterowania to głównie „świat cyfrowy”, ale otaczająca nas rzeczywistość to „świat analogowy” – stąd potrzeba konwersji między tymi światami.



# Przykładowy S7-1200

(CPU 1214C DC/DC/DC, 6ES7 214-1AG40-0XB0)



Analog Inputs	
Number of analog inputs	2
Input ranges	
• Voltage	Yes
Input ranges (rated values), voltages	
• 0 to +10 V	Yes
— Input resistance (0 to 10 V)	≥100k ohms
Analog value generation for the inputs	
Integration and conversion time/resolution per channel	
• Resolution with overrange (bit including sign), max.	10 bit
• Integration time, parameterizable	Yes
• Conversion time (per channel)	625 μs

Short designation:	AQ1 Signal board
Description:	Signal board AQ1 x 12 bits; plug-in terminal blocks; output: ±10V and 0 to 20 mA; configurable diagnostics; configurable substitute output value

# Alokacja naturalna pamięci dla AI0, AI1, AQ0

Wejście	Adres
AI0 (wejście analogowe – kanał 0)	<b>IW64</b>
AI1 (wejście analogowe – kanał 1)	<b>IW66</b>



Wyjście	Adres
AQ0 (wyjście analogowe – kanał 0)	<b>QW80</b>

**Ai0, Ai1, QW0:** dwubajtowe rejestry przechowujące wartości zmiennych typu INT

# Dane techniczne dla omawianego przypadku

Technical data	CPU	SB	SM
Type	Voltage (single-ended)	Voltage or current (differential)	Voltage or current (differential), selectable in groups of 2
Range	0 to 10 V	$\pm 10$ V, $\pm 5$ V, $\pm 2.5$ , 0 to 20 mA, or 4 mA to 20 mA	$\pm 10$ V, $\pm 5$ V, $\pm 2.5$ V, 0 to 20 mA, or 4 mA to 20 mA
Resolution	10 bits	11 bits + sign bit	12 bits + sign bit
Full scale range (data word)	0 to 27648	-27,648 to 27,648	-27,648 to 27,648
Accuracy (25 °C / -20 to 60 °C)	3.0% / 3.5% of full-scale	$\pm 0.3\%$ / $\pm 0.6\%$ of full scale	$\pm 0.1\%$ / $\pm 0.2\%$ of full scale
Overshoot / undershoot range (data word) (See note 1)	Voltage: 27,649 to 32,511	Voltage: 32,511 to 27,649 / -27,649 to -32,512	Voltage: 32,511 to 27,649 / -27,649 to -32,512
	Current: N/A	Current: 32,511 to 27,649 / 0 to -4864	Current: 32,511 to 27,649 / 0 to -4864
Overflow / underflow (data word) (See note 1)	Voltage: 32,512 to 32,767	Voltage: 32,767 to 32,512 / -32,513 to -32,768	Voltage: 32,767 to 32,512 / -32,513 to -32,768
	Current: N/A	Current: 32,767 to 32,512 / -4865 to -32,768	Current: 32,767 to 32,512 / -4865 to -32,768

# Dane techniczne dla omawianego przypadku

Technical data	CPU	SB	SM
Type	Voltage (single-ended)	Voltage or current (differential)	Voltage or current (differential), selectable in groups of 2
Range	0 to 10 V	±10 V, ±5 V, ±2.5, 0 to 20 mA, or 4 mA to 20 mA	±10 V, ±5 V, ±2.5 V, 0 to 20 mA, or 4 mA to 20 mA
Resolution	10 bits	11 bits + sign bit	12 bits + sign bit
Full scale range (data word)	0 to 27648	-27,648 to 27,648	-27,648 to 27,648
Accuracy (25 °C / -20 to 60 °C)	3.0% / 3.5% of full-scale	±0.3% / ±0.6% of full scale	±0.1% / ±0.2% of full scale
Overshoot / undershoot range (data word) (See note 1)	Voltage: 27,649 to 32,511	Voltage: 32,511 to 27,649 / -27,649 to -32,512	Voltage: 32,511 to 27,649 / -27,649 to -32,512
	Current: N/A	Current: 32,511 to 27,649 / 0 to -4864	Current: 32,511 to 27,649 / 0 to -4864
Overflow / underflow (data word) (See note 1)	Voltage: 32,512 to 32,767	Voltage: 32,767 to 32,512 / -32,513 to -32,768	Voltage: 32,767 to 32,512 / -32,513 to -32,768
	Current: N/A	Current: 32,767 to 32,512 / -4865 to -32,768	Current: 32,767 to 32,512 / -4865 to -32,768

# Dane techniczne dla omawianego przypadku

Technical data	CPU	SB	SM
Type	Voltage (single-ended)	Voltage or current (differential)	Voltage or current (differential), selectable in groups of 2
Range	0 to 10 V	$\pm 10$ V, $\pm 5$ V, $\pm 2.5$ , 0 to 20 mA, or 4 mA to 20 mA	$\pm 10$ V, $\pm 5$ V, $\pm 2.5$ V, 0 to 20 mA, or 4 mA to 20 mA
Resolution	10 bits	11 bits + sign bit	12 bits + sign bit
Full scale range (data word)	0 to 27648	-27,648 to 27,648	-27,648 to 27,648
Accuracy (25 °C / -20 to 60 °C)	3.0% / 3.5% of full-scale	$\pm 0.3\%$ / $\pm 0.6\%$ of full scale	$\pm 0.1\%$ / $\pm 0.2\%$ of full scale
Overshoot / undershoot range (data word) (See note 1)	Voltage: 27,649 to 32,511	Voltage: 32,511 to 27,649 / -27,649 to -32,512	Voltage: 32,511 to 27,649 / -27,649 to -32,512
	Current: N/A	Current: 32,511 to 27,649 / 0 to -4864	Current: 32,511 to 27,649 / 0 to -4864
Overflow / underflow (data word) (See note 1)	Voltage: 32,512 to 32,767	Voltage: 32,767 to 32,512 / -32,513 to -32,768	Voltage: 32,767 to 32,512 / -32,513 to -32,768
	Current: N/A	Current: 32,767 to 32,512 / -4865 to -32,768	Current: 32,767 to 32,512 / -4865 to -32,768



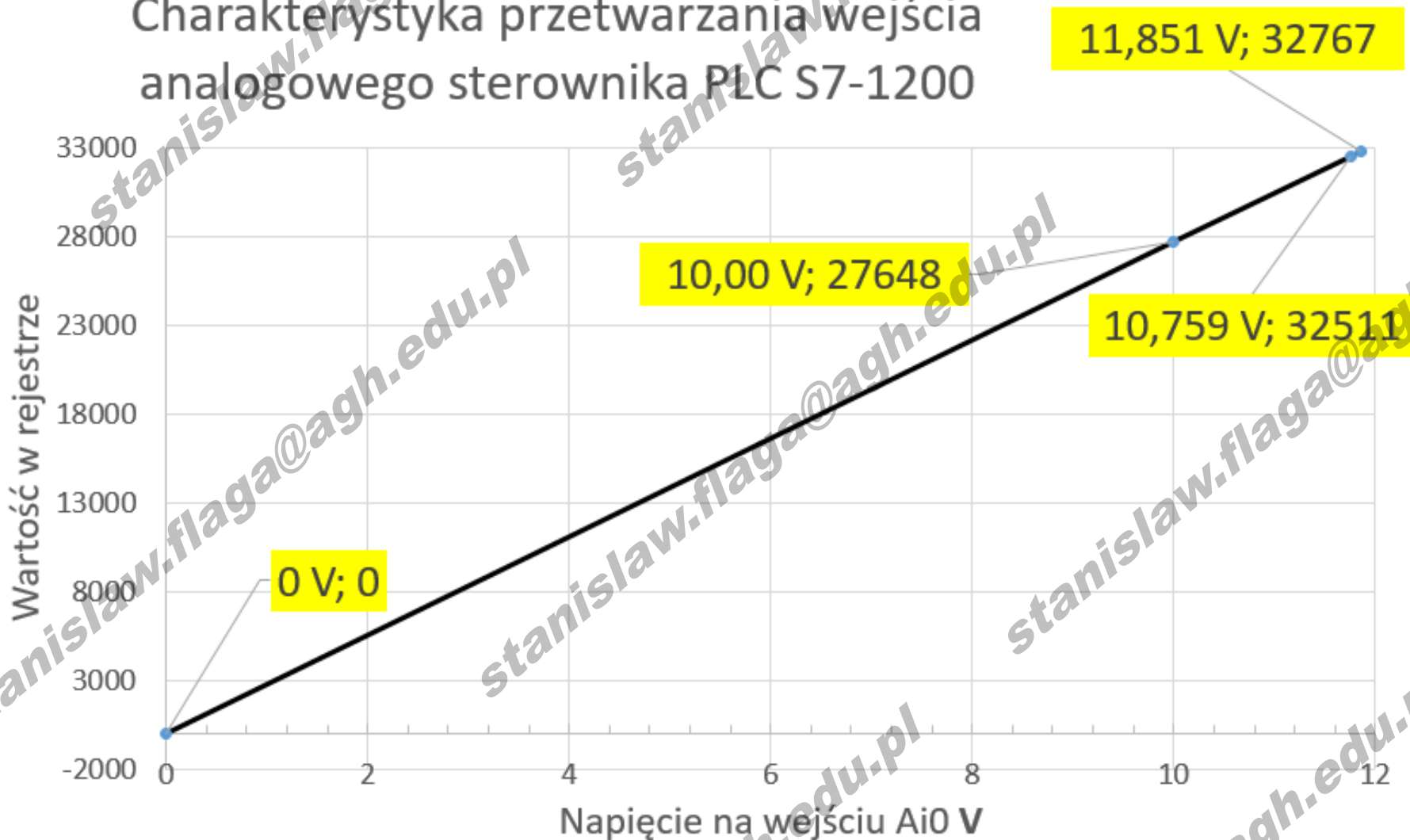
# Parametry konwersji dla rozpatrywanego przypadku

System		Voltage Measuring Range	
Decimal	Hexadecimal	0 to 10 V	
32767	7FFF	11.851 V	Overflow
32512	7F00		
32511	7EFF	11.759 V	Overshoot range
27649	6C01		
27648	6C00	10 V	Rated range
20736	5100	7.5 V	
34	22	12 mV	
0	0	0 V	
Negative values		Negative values are not supported	

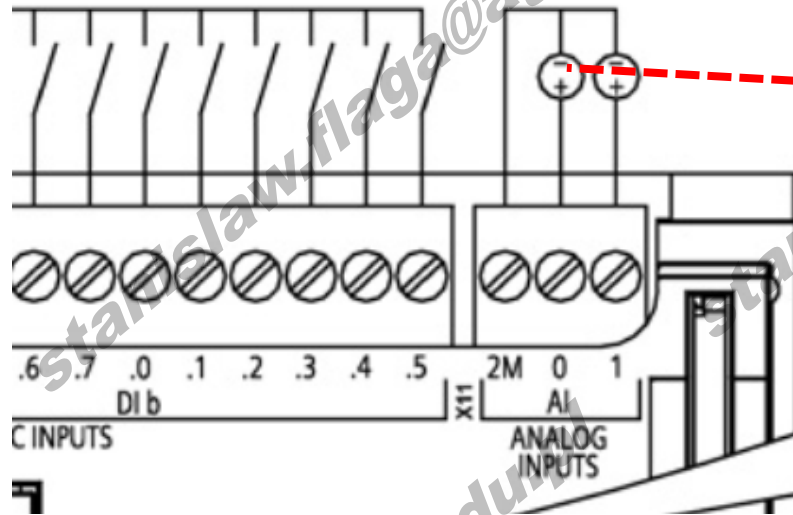
# Charakterystyka przetwarzania wejść analogowych



Charakterystyka przetwarzania wejścia analogowego sterownika PLC S7-1200



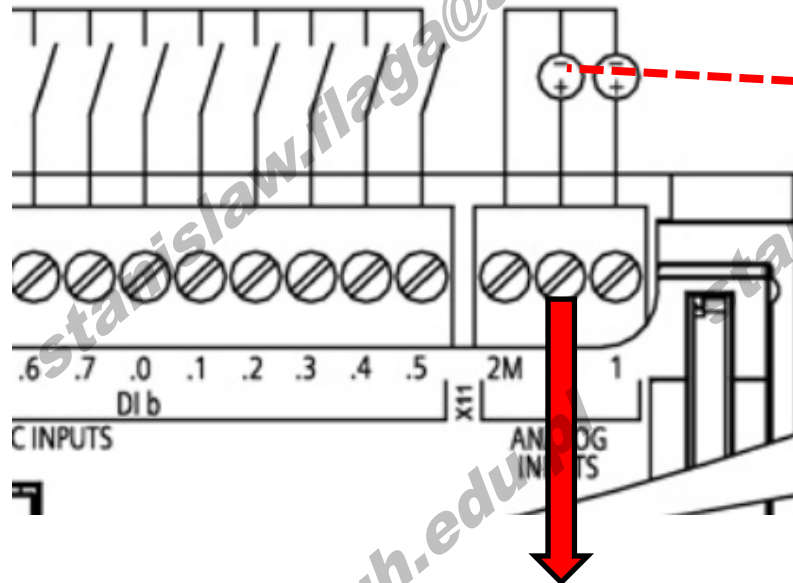
# Konwersja A/D na podstawie Ai0



Tutaj 0 – 10 V

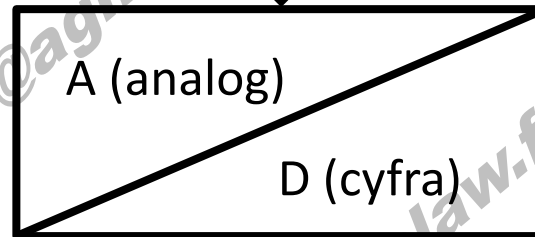
Spotykane inne przypadki w zależności od modułu analogowego, np. +/- 10 V, 4 – 20 mA

# Konwersja A/D na podstawie Ai0

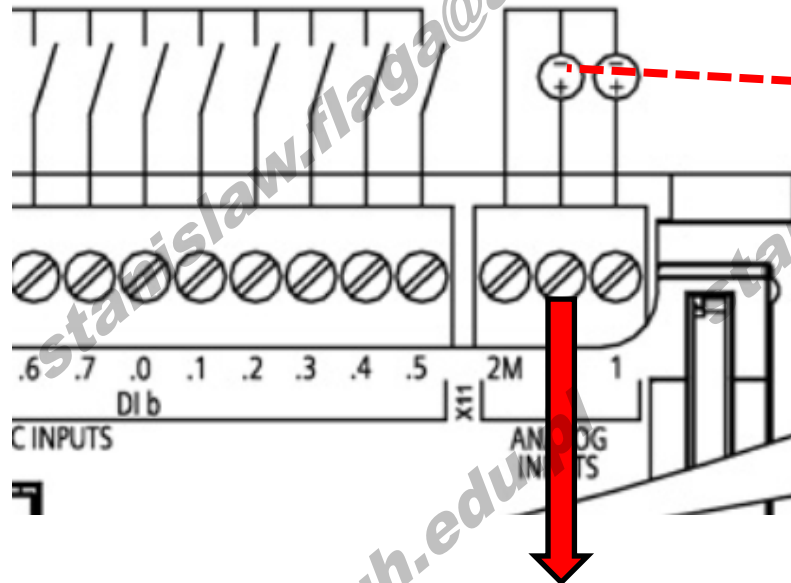


Tutaj 0 – 10 V

Spotykane inne przypadki w zależności od modułu analogowego, np. +/- 10 V, 4 – 20 mA

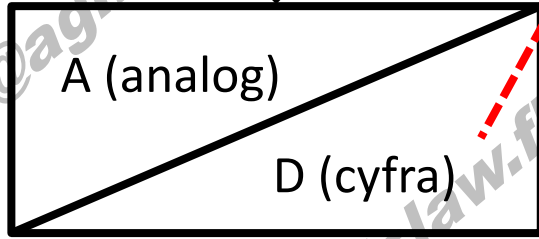


# Konwersja A/D na podstawie Ai0

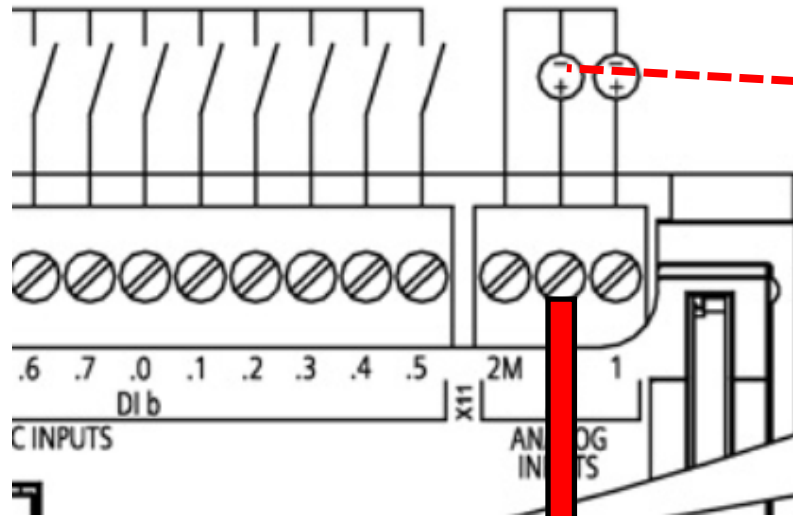


Tutaj 0 – 10 V  
Spotykane inne przypadki w zależności od modułu analogowego, np. +/- 10 V, 4 – 20 mA

Cechą charakterystyczną tej części jest rozdzielczość wyrażana w liczbie bitów na których zapisywany jest wynik konwersji A/D, a jednocześnie liczba poziomów rekonstrukcji (reprezentacji)

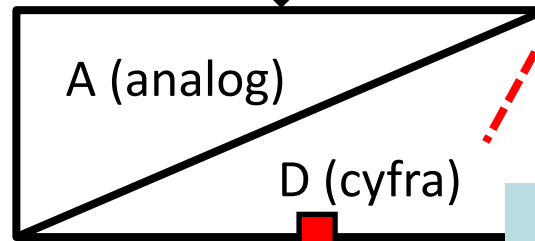


# Konwersja A/D na podstawie Ai0

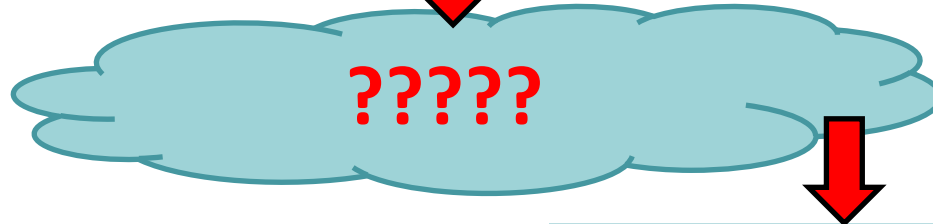


Tutaj 0 – 10 V  
 Spotykane inne przypadki w zależności od modułu analogowego, np. +/- 10 V, 4 – 20 mA

Cechą charakterystyczną tej części jest rozdzielczość wyrażana w liczbie bitów na których zapisywany jest wynik konwersji A/D, a jednocześnie liczba poziomów rekonstrukcji (reprezentacji)



W tym przypadku 10 bitów



15 bitów na zapis wartości

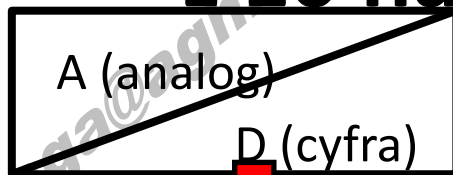
Znak:  
 0 – „+”  
 1 – „-”

Nr bitu	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Wartość	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**%PIW64**

# Co kryje się w „chmurze”? – czyli konwersja

## z 10 na 15 bitów



W tym przypadku 10 bitów

Znak:  
0 –

„+”  
1 – „-”

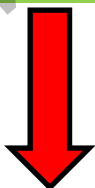


na 15 bitów ze znakiem

Nr bitu	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Wartość	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

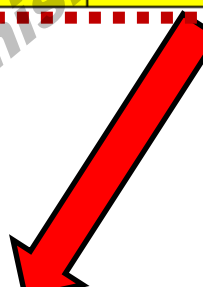
W „chmurze” kryją się konfigurowalne filtrowanie i wygładzanie.  
W przypadku czystych danych konwersja wyglądałaby jak poniżej.

855



27360

Nr bitu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Wartość	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1



Nr bitu	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Wartość	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0



# Działka elementarna

**AGH** Wejście analogowe PLC to jednak miernik cyfrowy (*te informacje programiście niekoniecznie są potrzebne*) – jaka jest jego **działka elementarna przy rozdzielczości 10 bitów**

Nominalny zakres pomiarowy to: 0 – 10 V

Pełny zakres pomiarowy to: 0 – 11,851 V

Liczba stanów w części dodatniej 10 bitowej zmiennej  
typu INT =  $2^{10} = 1024$

Działka elementarna przy założeniu liniowości w całym zakresie  
= 11 851 mV / 1024 działek = 11,57 mV/działkę



# Działka elementarna

Zmiana wartości wejściowej o wartość działki elementarnej spowoduje zmianę w rejestrze o:

$$w_{\text{RejestrzeNaDziałkęElementarną}} = \frac{2^{15}}{2^{10}} = 2^5 = 32$$

czyli w tym przypadku

$$w_{\text{RejestrzeNaDziałkęElementarną}} = \frac{32768}{1024}$$

w przypadku kart np. 12 bitowych zmieni się jedynie mianownik powyższego ilorazu, czyli będzie 32768/4096

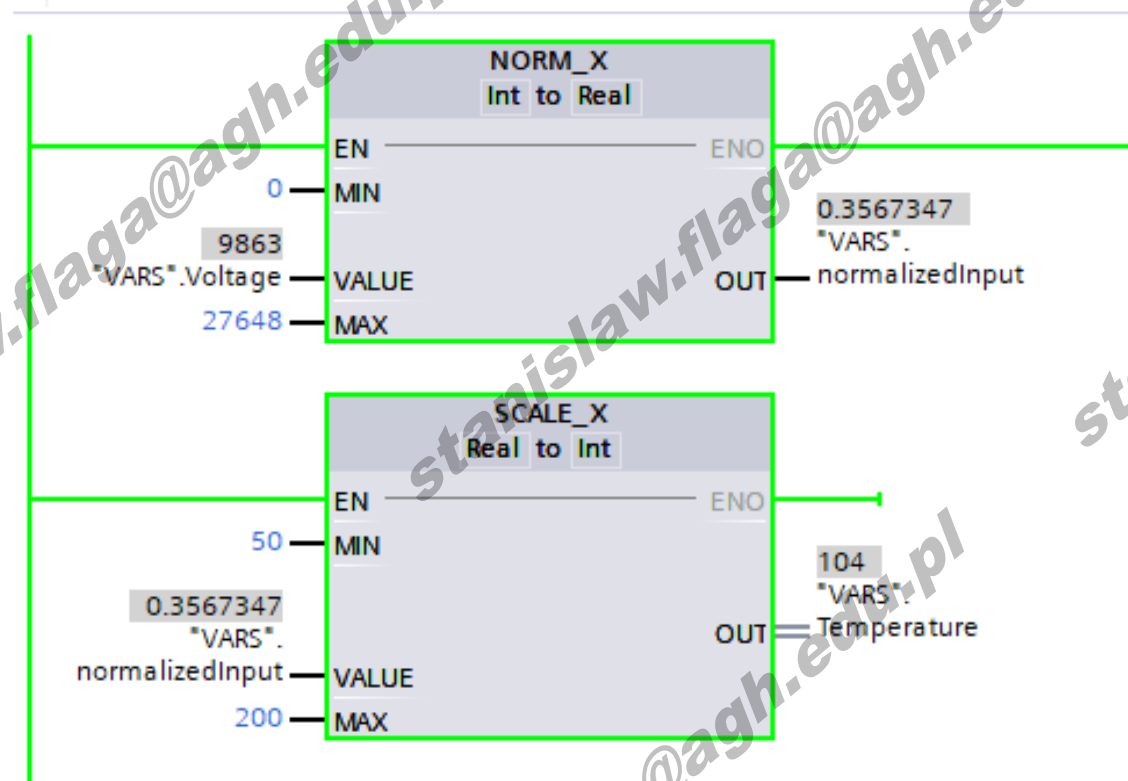
# Przykład

Do wejścia analogowego **AIO** PLC z przykładu podłączono przetwornik temperatury o zakresie pomiarowym 50 – 200°C.

Na wyjściu przetwornika otrzymujemy napięcie z zakresu 0 – 10 V.

Na panelu HMI pokazana zostanie temperatura z rozdzielczością co 0,1 °C

## Normalizacja wartości na zakres: 0,0 – 1,0



# Przykład - prezentacja





AGH

# Dlaczego analog w cyfrowym świecie?

Dzisiejszy świat systemów sterowania to głównie „świat cyfrowy”, ale otaczająca nas rzeczywistość to „świat analogowy” – stąd potrzeba konwersji między tymi światami.

The screenshot displays the Siemens SIMATIC Manager interface. On the left, the Ladder Logic (LAD) editor shows four rungs of code:

```
1 "VARS".ioState := #IO_State;
2 "VARS".laddr := #LADDR;
3 "VARS".channel := #Channel;
4 "VARS".multiError := #MultiError;
```

In the center, the HW Config window shows the system constants for PLC\_1 [CPU 1214C DC/DC/DC]. The 'System constants' tab is active, displaying a table of hardware components:

Name	Type	Hardware identi.	Used by
Local-Pulse_2	Hw_Pwm	266	PLC_1
Local-Pulse_3	Hw_Pwm	267	PLC_1
Local-Pulse_4	Hw_Pwm	268	PLC_1
Local-PROFINET_interface_1	Hw_Interface	64	PLC_1
Local-AQ_1x12BIT_1	Hw_SubModule	269	PLC_1
Local-PROFINET_interface_1-Port_1	Hw_Interface	65	PLC_1

At the bottom left, the CPU operator panel for PLC\_1 [CPU 1214C DC/DC/DC] is shown, featuring three status indicators and control buttons:

- RUN / STOP**: Green indicator, RUN button
- ERROR**: Red indicator, STOP button
- MAINT**: Grey indicator, MRES button

# Dlaczego analog w cyfrowym świecie?

Analog\_Calibrator ▶ PLC\_1 [CPU 1200 DC/DC/DC]

Event ID	Time	Description
6	7/2/2020 11:06:17.759 AM	High limit exceeded
7	7/2/2020 11:06:17.722 AM	High limit exceeded
8	7/2/2020 11:06:17.674 AM	High limit exceeded
9	7/2/2020 11:06:17.637 AM	High limit exceeded

Freeze display

**Details on event:**

Details on event: 1 of 50 Event ID: 16# 06:010

Module: PLC\_1 / S7-1200 station\_1.AQ 1x12BIT\_1

Rack/slot: Rack 0 / Slot 1.3

Description: Error: High limit exceeded on Output channel Volt PLC\_1 / PLC\_1.AQ 1x12BIT\_1

Help on event: For sensors: The measured value exceeds the measuring range.  
For actors: The output value exceeds a high limit value.  
Solution: Check the interaction between the module and the sensor or actuator.



AGH

# Dlaczego analog w cyfrowym świecie?

Kalibracja: 2V – 5529; 4V, 11058; 5V, 13822; 10V, 27645; 11,5V – 31775; 11,75V 32457,  
11,76V(overflow) - 32491

```
1 "VARS".ioState := #IO_State;
2 "VARS".laddr := #LADDR;
3 "VARS".channel := #Channel;
4 "VARS".multiError := #MultiError;
```

"VARS".ioS...	16#0010
"VARS".laddr	258
"VARS".cha...	1
"VARS".mul...	FALSE
#MultiError	FALSE

AI_1	%IW66		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	32767
------	-------	--	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	-------

▼ CPU operator panel

PLC\_1 [CPU 1214C DC/DC/DC]

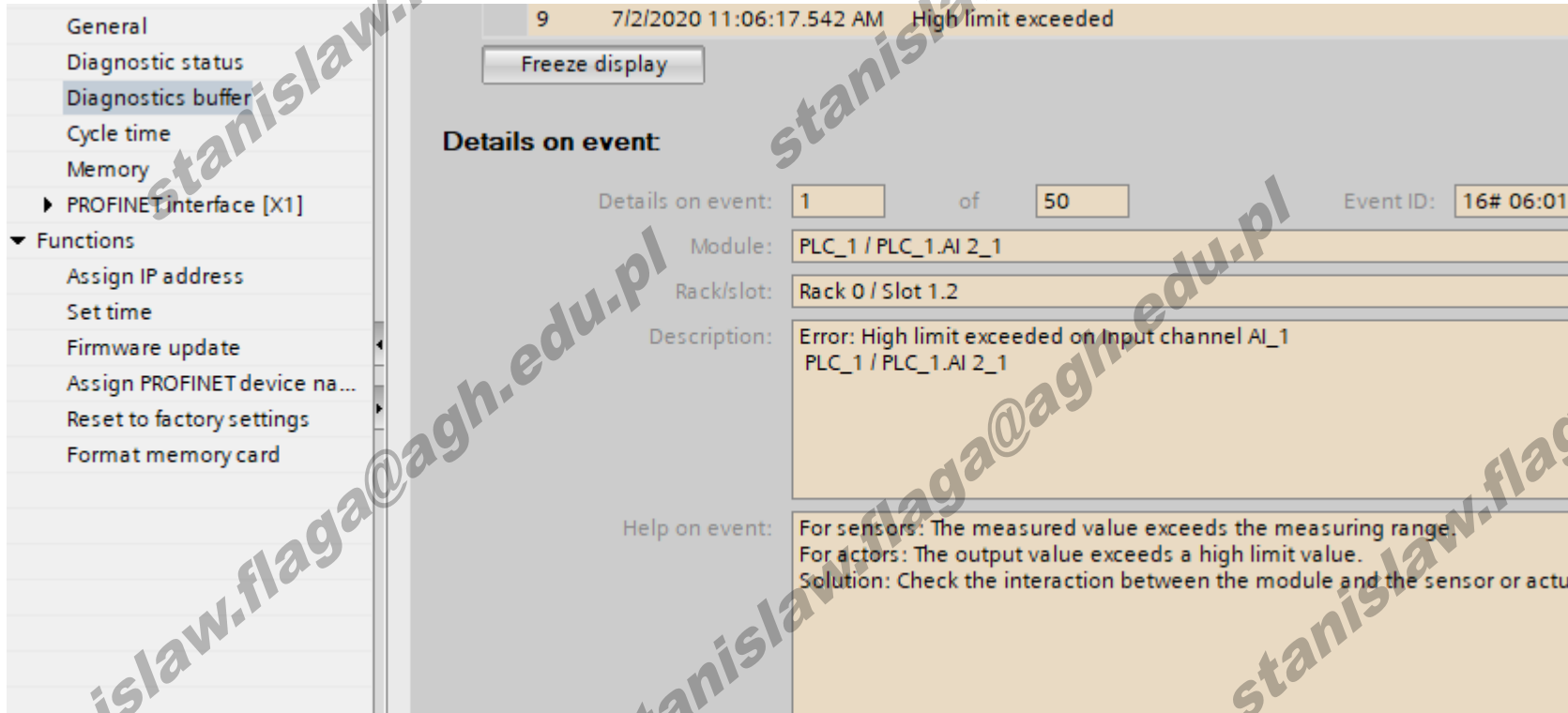
RUN / STOP   

ERROR   

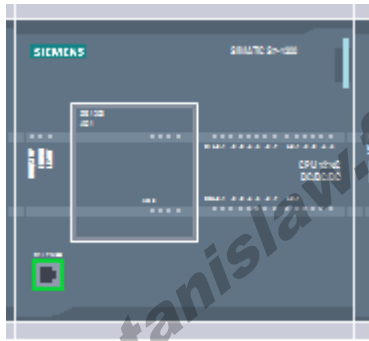
MAINT   

General	IO tags	System constants	Texts
Show hardware system constant ▼			
Name	Type	Hardware identi.	Used by
Local-Common	Hw_SubModule	50	PLC_1
Local-Device	Hw_Device	32	PLC_1
Local-Configuration	Hw_SubModule	33	PLC_1
Local-Exec	Hw_SubModule	52	PLC_1
Local	Hw_SubModule	49	PLC_1
Local-DI_14_DQ_10_1	Hw_SubModule	257	PLC_1
Local-AI_2_1	Hw_SubModule	258	PLC_1

# Dlaczego analog w cyfrowym świecie?



The screenshot displays a diagnostic interface for a PLC. On the left is a navigation menu with options: General, Diagnostic status, Diagnostics buffer (highlighted), Cycle time, Memory, PROFINET interface [X1], and Functions (expanded to show Assign IP address, Set time, Firmware update, Assign PROFINET device name, Reset to factory settings, and Format memory card). The main area shows an event log entry: '9 7/2/2020 11:06:17.542 AM High limit exceeded'. Below this is a 'Freeze display' button and a 'Details on event' section. The details include: 'Details on event: 1 of 50', 'Event ID: 16# 06:01...', 'Module: PLC\_1 / PLC\_1.AI 2\_1', 'Rack/slot: Rack 0 / Slot 1.2', and 'Description: Error: High limit exceeded on input channel AI\_1 PLC\_1 / PLC\_1.AI 2\_1'. A 'Help on event' section provides context: 'For sensors: The measured value exceeds the measuring range. For actors: The output value exceeds a high limit value. Solution: Check the interaction between the module and the sensor or actuator.'



AQ 1x12BIT\_1 [AQ1 signal board] Properties Info

General IO tags System constants Texts

General

Analog outputs

ChannelIO

I/O addresses

I/O addresses

Output addresses

Start address: 80

End address: 81

Organization block: --- (Automatic update)

Process image: Automatic update

General

Name: AQ 1x12BIT\_1

Comment:

Catalog information

Short designation: AQ1 Signal board

Description: Signal board AQ1 x 12 bits; plug-in terminal blocks; output: +/-10V and 0 to 20 mA; configurable diagnostics; configurable substitute output value



# Np. 1214 DC/DC/DC

Analog inputs	
Number of analog inputs	2
Input ranges	
• Voltage	Yes; 0 to 10V
Input ranges (rated values), voltages	
• 0 to +10 V	Yes
— Input resistance (0 to 10 V)	≥100k ohms
Cable length	
• shielded, max.	100 m; shielded, twisted pair
Analog outputs	
Number of analog outputs	0
Cable length	
• shielded, max.	100 m; shielded, twisted pair
Analog value generation for the inputs	
Integration and conversion time/resolution per channel	
• Resolution with overrange (bit including sign), max.	10 bit
• Integration time, parameterizable	Yes
• Conversion time (per channel)	625 μs

## Rozdzielczość

10 bitów,  
1024 próbki

teoretyczna rozdzielczość

$$10000 \text{ mV} / 1024 = 9,8 \text{ mV}$$

praktycznie:

czyli zauważalna zmiana to 10 mV

czyli odczyt powinien się mieścić w zakresie +/- 10 mV od wartości zmierzonej

w rejestrze np IW64 zmiana o 10 mV na wejściu AI0 powinna dać zmianę o około  $27648 / 1024 = 27$  i taka jest rozdzielczość kanału

Wyjście analogowe 1 bitów + znak

teoretyczna rozdzielczość

$$10000 \text{ mV} / 4096 = 8 \text{ mV}$$

czyli zauważalna zmiana to 8 mV

czyli odczyt powinien się mieścić w zakresie +/- 8 mV od wartości zmierzonej

Czyli zmiana na wejściu AI o 8 mV powinna w rejestrze spowodować zmianę o około 7

Load impedance (in rated range of output)	
• with voltage outputs, min.	1 000 $\Omega$
• with current outputs, max.	600 $\Omega$
Cable length	
• shielded, max.	10 m; shielded, twisted pair
Analog value generation	
Measurement principle	Differential
Integration and conversion time/resolution per channel	
• Resolution (incl. overrange)	V/12 bit, I/11 bit
Smoothing of measured values	
• parameterizable	Yes
Errors/accuracies	
Temperature error (relative to output range), (+/-)	25 °C $\pm$ 0.5%, to 55 °C $\pm$ 1%
Interrupts/diagnostics/status information	