

UNIWERSYTET MORSKI**Gdynia dnia 2024-03-01****Katedra Podstaw Techniki****Laboratorium Automatyki – dynamika**

Instrukcja ćwiczenia

Ćwiczenie nr	3.2
Temat:	Badanie charakterystyk dynamicznych
Stanowisko laboratoryjne	Zbiornik wodny - element całkujący
Opracował:	A. Mielewczyk

UNIWERSYTET MORSKI
Katedra Podstaw Techniki
Laboratorium Automatyki

Instrukcja ćwiczenia nr 3B

Temat: Badanie dynamiki członu całkującego

Zbiornik wodny

1. Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest wykreślenie charakterystyki dynamicznej i częstotliwościowej elementu całkującego za pomocą programu **FluidSIM** na układzie technicznym zbiornika wodnego.

2. Zakres wymaganych wiadomości:

- sygnały analogowe i cyfrowe,
- sygnał wejściowy skokowy, liniowy i częstotliwościowy
- transmitancja elementu całkującego,
- charakterystyka dynamiczna i parametry elementu całkującego,
- charakterystyka częstotliwościowa i parametry elementu całkującego,
- pomiar sygnałów przez EasyPort,
- programowanie we FluidSIM,

3. Przebieg ćwiczenia:

Połączyć EasyPort ze stanowiskiem i komputerem, zaprojektować układ sterowania, wprowadzić parametry do programu FluidSIM, załączyć program, zarejestrować charakterystyki, wyznaczyć parametry, przedstawić wnioski.

4. Stanowisko laboratoryjne:

Stanowisko układu zbiorników z wodą, układ pomiarowy EasyPort, program Fluid SIM.

5. Sprawozdanie z ćwiczenia:

Część wstępna, opis elementów, parametry konfigurowane poprzez FluidSIM, charakterystyki dynamiczne i parametry transmitancji, charakterystyki częstotliwościowe oraz parametry modułu i przesunięcie fazowe.

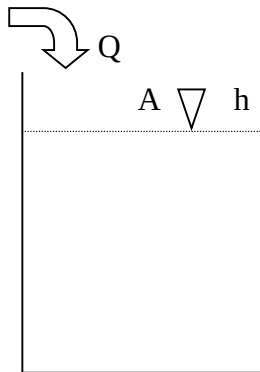
Stanowisko badania własności członu całkującego - układ pompowy ze zbiornikami wody

Spis treści

Instrukcja ćwiczenia nr 3B	2
Zbiornik wodny	2
1. Wprowadzenie	4
2. Stanowisko laboratoryjne	7
3. Programowanie we FluidSIM	10
4. Charakterystyki dynamiczne układu całkującego	15
4.1 Charakterystyka skokowa	15
4.2 Charakterystyka częstotliwościowa – sinusoidalna	19
5. Przebieg ćwiczenia	24
Spis ilustracji	25

1. Wprowadzenie

Napełnianie zbiornika płynem

 Q – natężenie przepływu cieczy h – wysokość cieczy w zbiorniku A – pole powierzchni lustra cieczy

Masa płynu zgromadzona w zbiorniku:

$$A \cdot h \cdot \rho = m$$

$$A \cdot \rho \frac{dh}{dt} = Q$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{1}{A \cdot \rho} Q$$

Równanie ogólne członu całkującego:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{1}{T_i} X$$

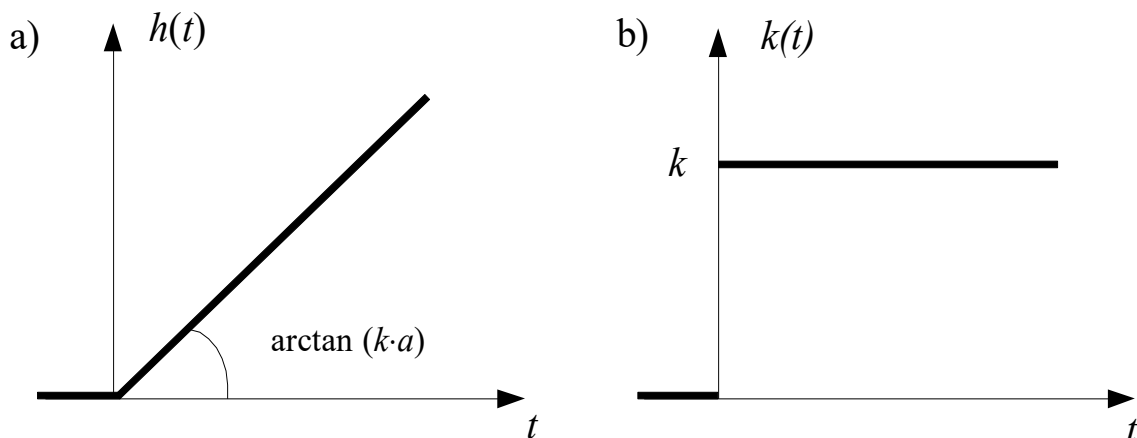
Transmitancja członu całkującego:

$$G(s) = \frac{1}{T_i \cdot s} \quad \text{lub} \quad G(s) = \frac{k}{s}$$

W członie całkującym idealnym sygnał wyjściowy jest proporcjonalny do całki z sygnału wejściowego. Jeżeli na wejściu członu całkującego idealnego pojawi się sygnał stały to sygnał wyjściowy będzie narastał w funkcji czasu liniowo. Współczynnik k reprezentuje stosunek pochodnej względem czasu (prędkości) odpowiedzi do wartości wymuszenia, stąd też nazywany jest wzmocnieniem prędkościowym.

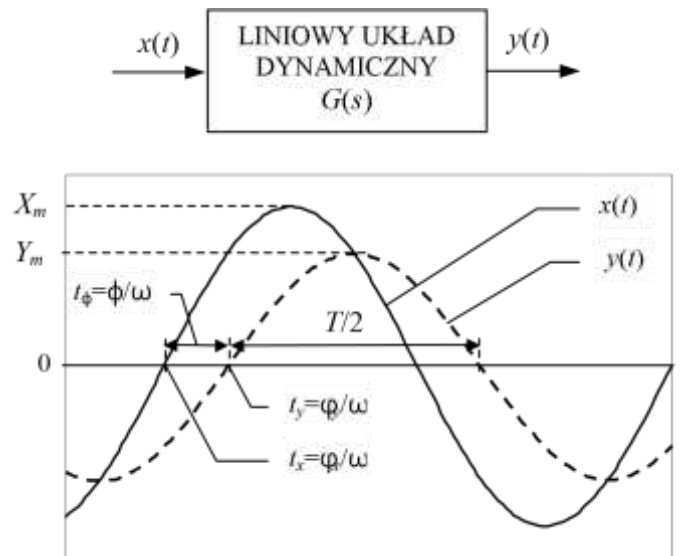
Charakterystyka skokowa $H(s) = \frac{k \cdot a}{s^2}$ oraz $h(t) = k \cdot a \cdot t \cdot \mathbf{1}(t)$

Charakterystyka impulsowa $G(s) = \frac{k}{s}$ oraz $g(t) = k \cdot \mathbf{1}(t)$



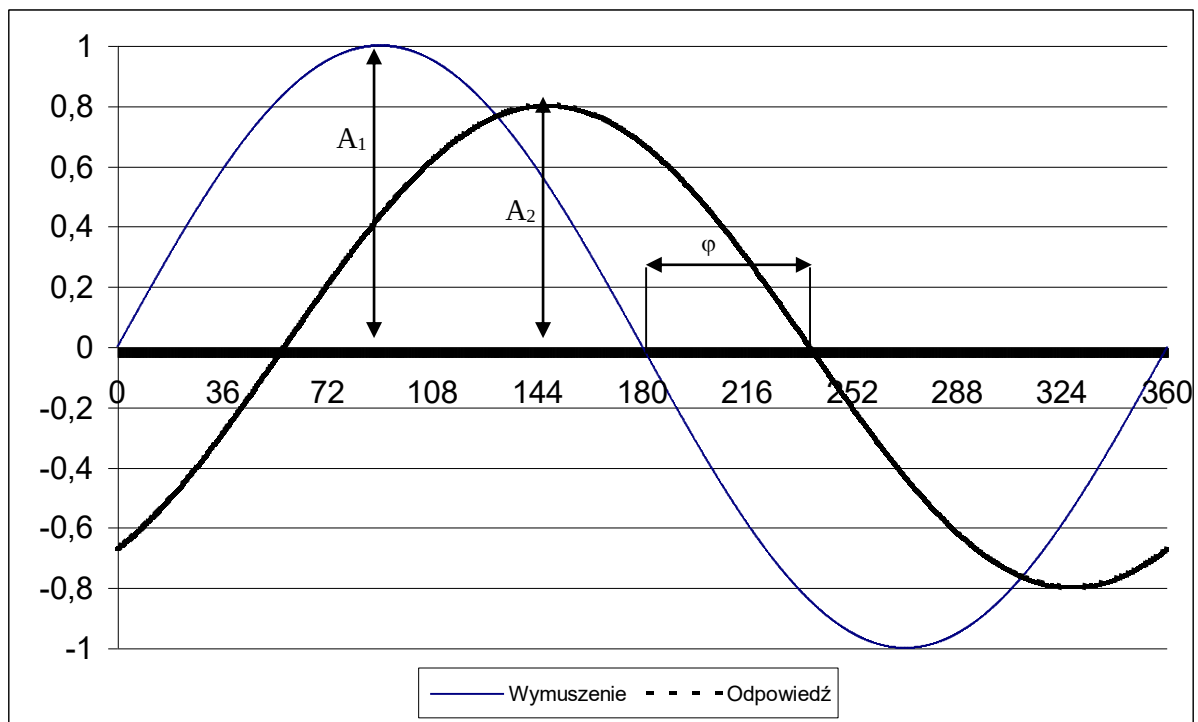
Rys. 1.1 Charakterystyki dynamiczne członu całkującego: a) skokowa, b) impulsowa

Charakterystyka częstotliwościowa. Przyjmujemy następujący model do testowania, Rys. 1.2.



Rys. 1.2 Sygnał harmoniczny przed i po przejściu przez liniowy układ dynamiczny

Z odpowiedzi układu na wymuszenie sinusoidalne zawsze wyznaczamy amplitudę sygnału wejściowego i wyjściowego oraz przesunięcie fazowe jak na Rys. 1.3.



Rys. 1.3 Parametry odpowiedzi układu na wymuszenie sinusoidalne

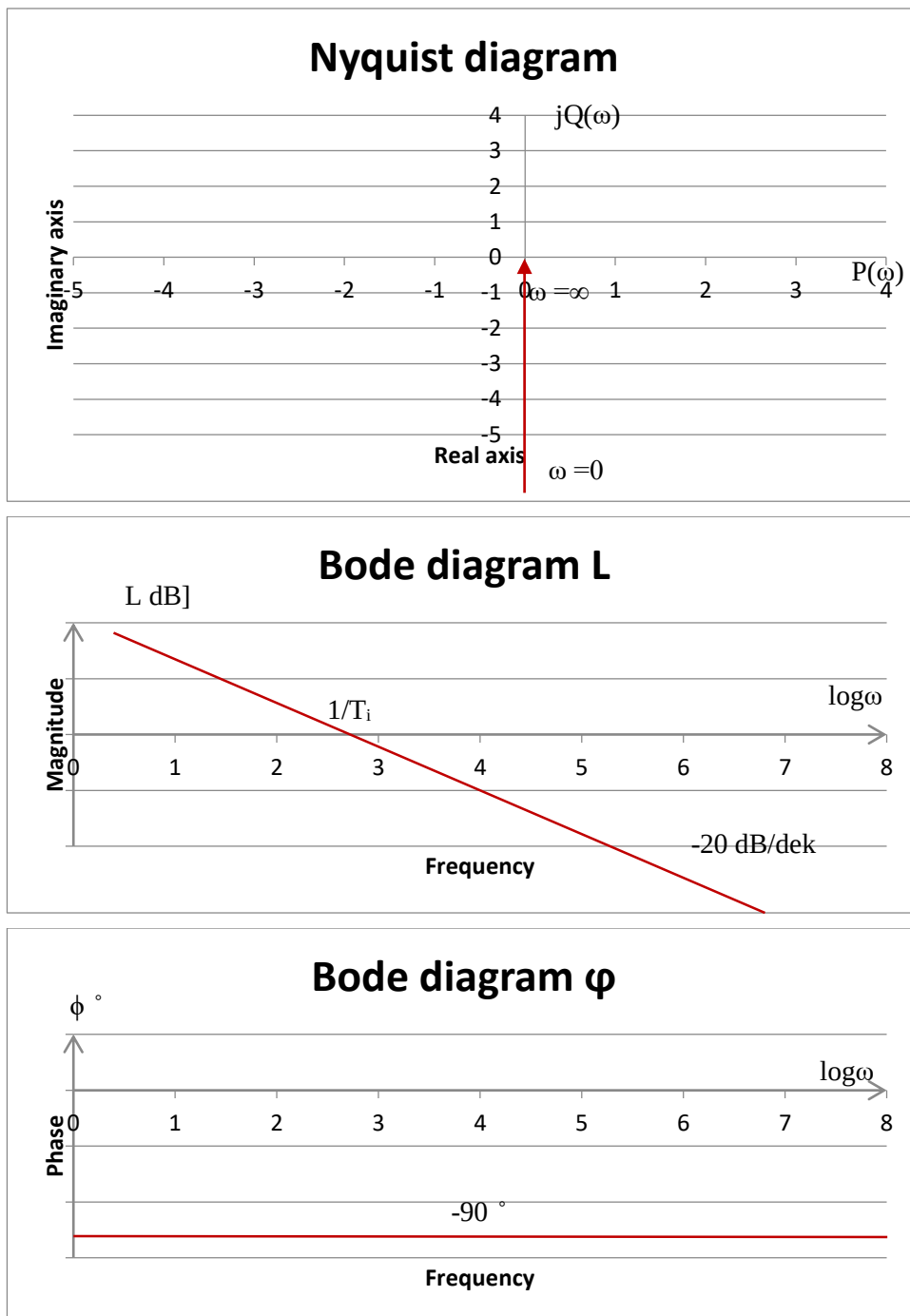
Przy zdejmowaniu charakterystyki częstotliwościowej w warunkach ustalonych amplituda sygnału wejściowego jest zwykle utrzymywana na stałym poziomie $Y_m(\omega) = Y_m = \text{const}$. Po odczytaniu amplitud A_1 i A_2 obliczamy moduł $M = A_2/A_1$ oraz przekształcamy przesunięcie fazowe ϕ do miary kątowej.

Transmitancja widmowa elementu całkującego idealnego jest następująca:

$$G(s) = \frac{1}{T_i \cdot s}$$

$$P(\omega) = 0; \quad Q(\omega) = -\frac{1}{T_i \cdot \omega}$$

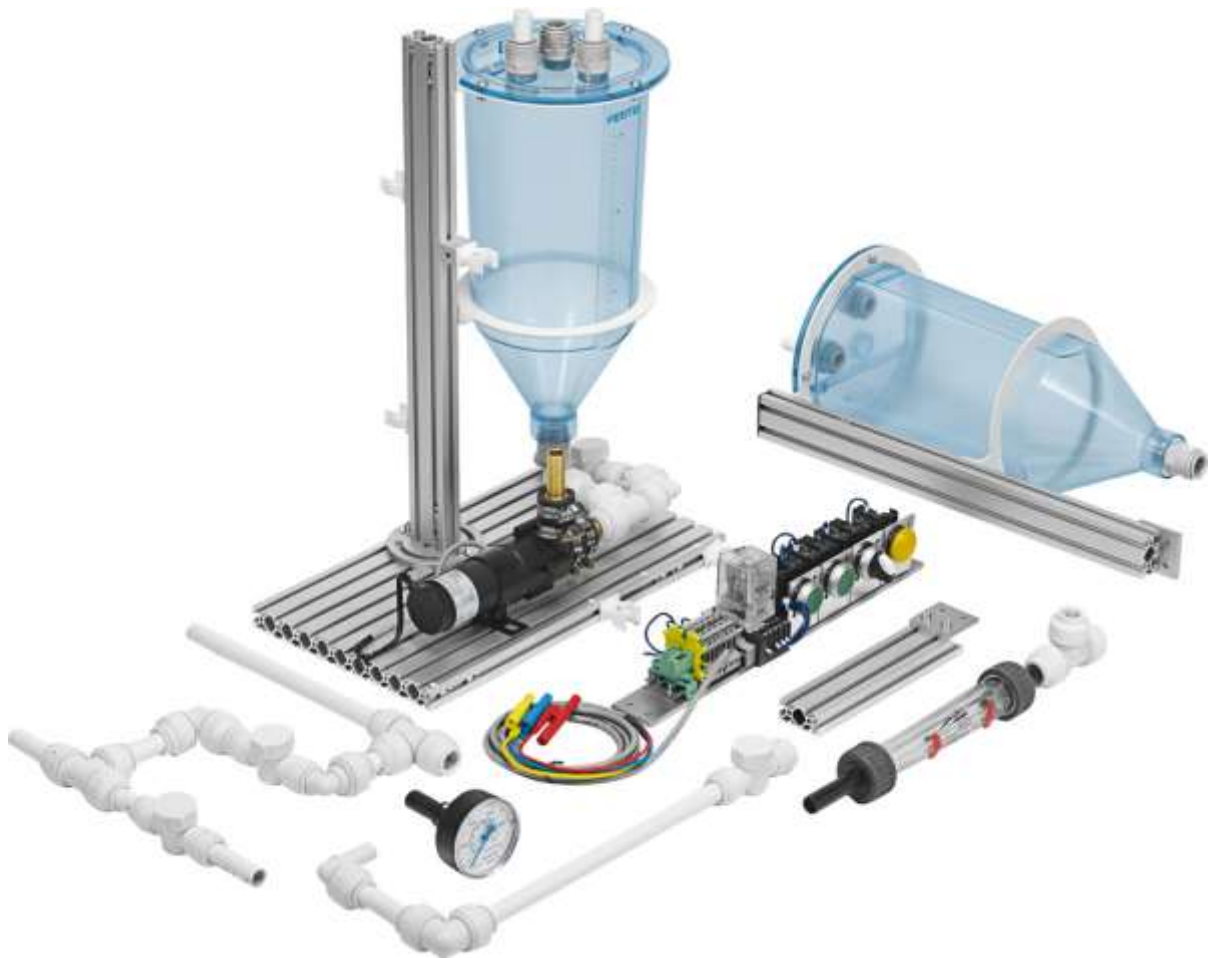
$$M(\omega) = \frac{1}{T_i \cdot \omega}; \quad \varphi(\omega) = -90^\circ$$



Rys. 1.4 Charakterystyka członu całkującego idealnego Nyquista oraz logarytmiczne Bodego

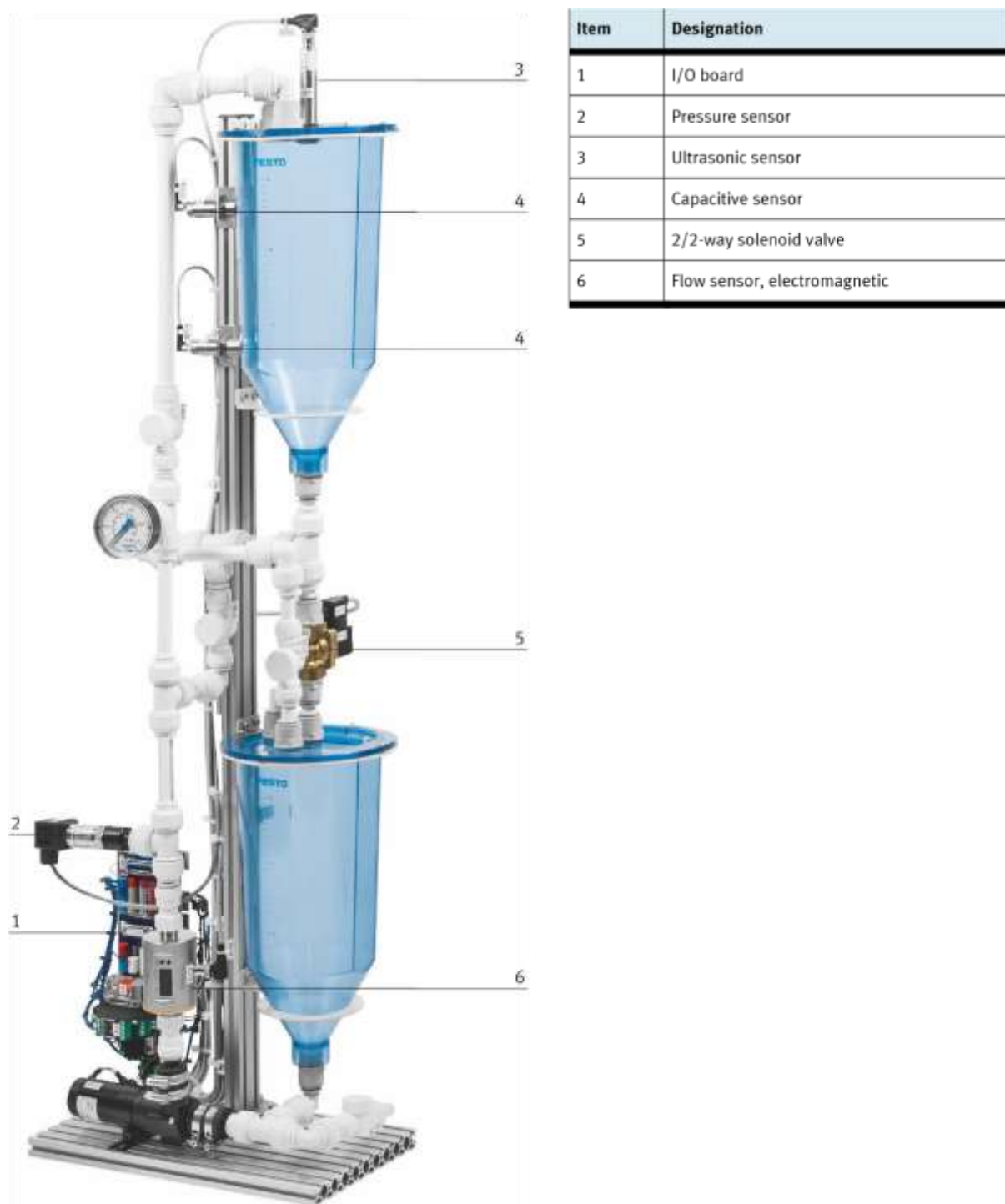
2. Stanowisko laboratoryjne

Z podanych komponentów należy zbudować układ napełniania zbiornika wodą, Rys. 2.1. W tym celu składamy układ i podłączamy układ sterowania z komputerem.



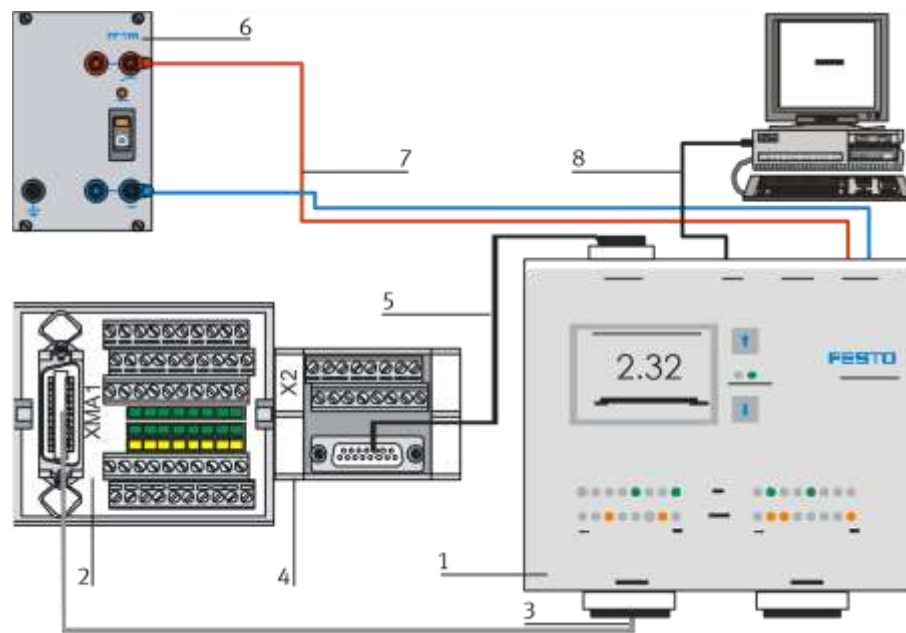
Rys. 2.1 Elementy stanowiska dydaktycznego – układ pompowy

Przygotowane stanowisko do wykonania charakterystyk dynamicznych przedstawia Rys. 2.2.

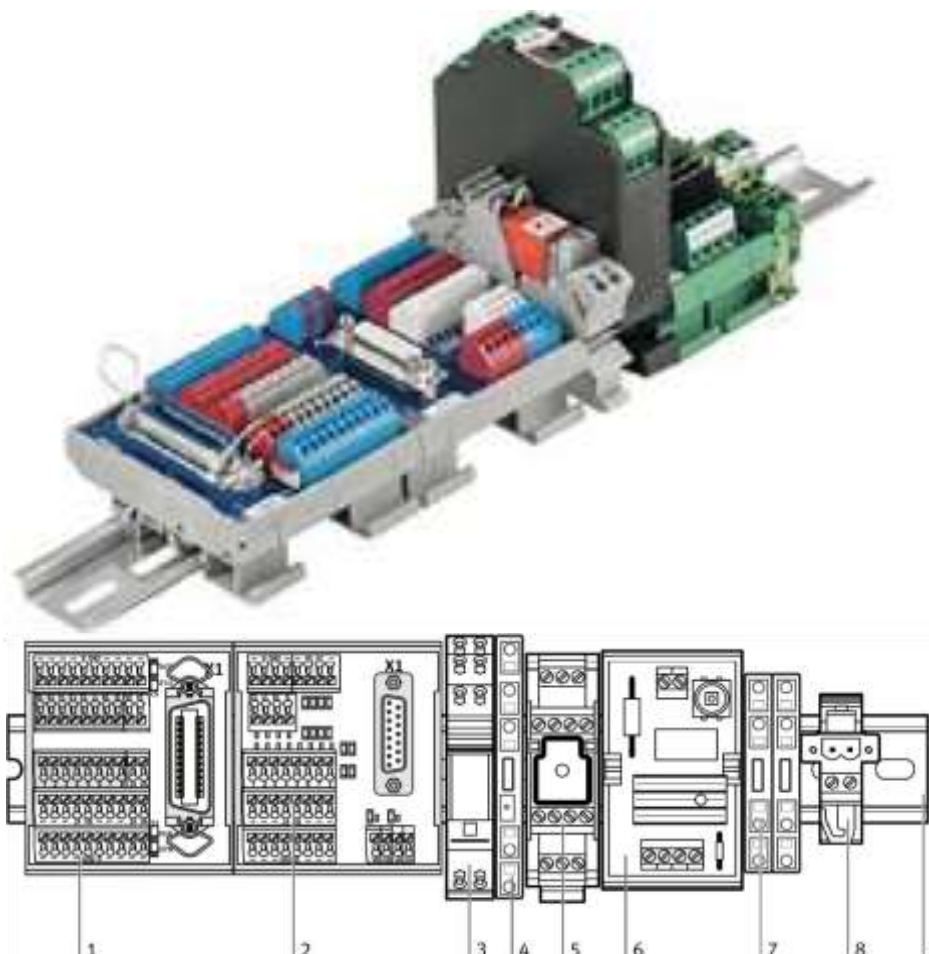


Rys. 2.2 Stanowisko z układem pompowym do badania charakterystyk członu całkującego

Podłączamy zasilacz 24VDC do układu oraz przewody wymiany danych analogowych i cyfrowych poprzez EasyPort do stanowiska badawczego i komputera, Rys. 2.4 i Rys. 2.3.



Rys. 2.4 Zasilanie układu



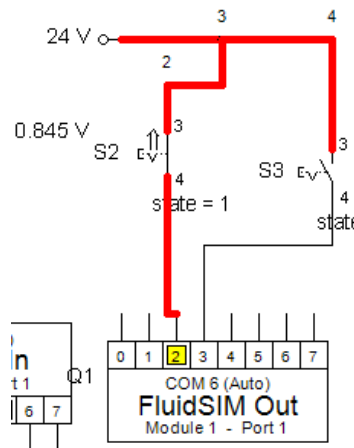
Rys. 2.3 Elementy sterowania - 1: I/O terminal XD1; 2: analogue terminal XD3; 3: relay, 2 switch-over contacts KF1; 4: relay, 1 switch-over contact KF2; 5: motor controller QA1; 6: starting current limiter QA0; 7: PE terminals XE0; 8: motor terminal XD20; 9: top hat rail

3. Programowanie we FluidSIM

Przechodzimy do programowania we FluidSIM. Należy wstawić wybrane komponenty do sterowania układem i rejestracji sygnałów:

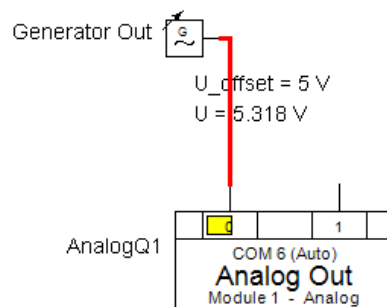
1. Załączanie pompy obiegowej ze stałymi obrotami – Dout3
2. Załączanie pompy obiegowej ze zmiennymi obrotami – Dout2
3. Sterowanie prędkością obrotową pompy obiegowej – Aout0
4. Pomiar poziomu wody w zbiorniku – Ain0
5. Rejestrator sygnałów pracy pompy i poziomu zbiornika

Ad. 1 i 2 Wstawiamy moduł cyfrowy, zasilanie styki normalnie otwarte S2 i S3, które podłączamy do kanału numer 2 i 3.



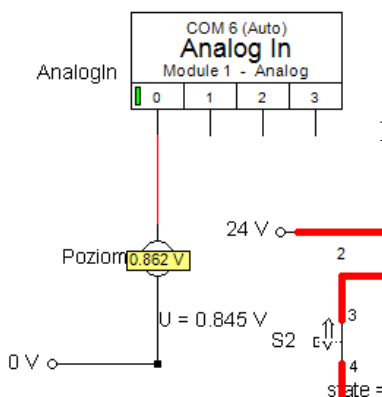
Rys. 3.1 Sterowanie pracą pompy

Ad.3 Wstawiamy moduł analogowy wyjściowy AnalogQ1 oraz generator sygnałów i podłączamy do kanału zerowego



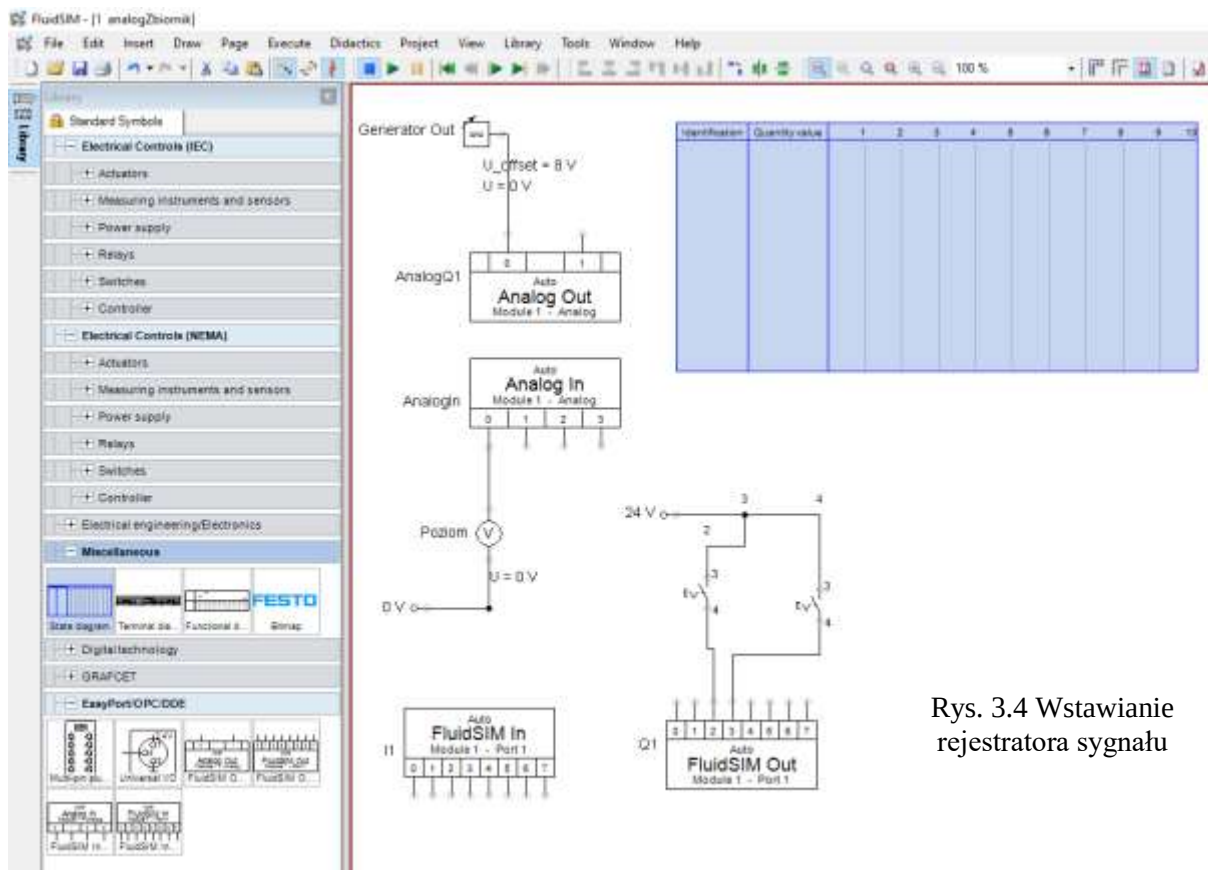
Rys. 3.2 Generator sygnału do sterowania prędkością obrotową pompy

Ad.4 Wstawiamy moduł analogowy wejściowy AnalogIn oraz woltomierz i podłączamy do kanału zerowego.



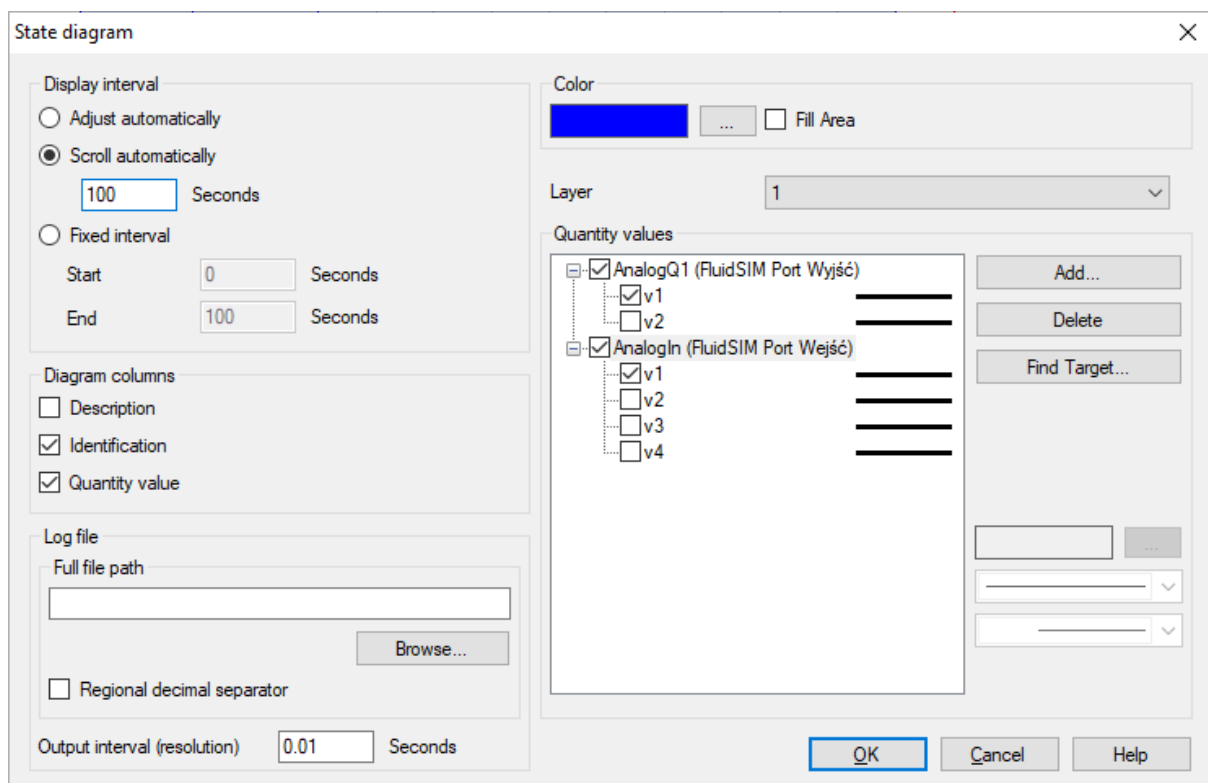
Rys. 3.3 Pomiar sygnału poziomu wody

Ad.5 Wstawiamy rejestrator sygnałów z dwoma kanałami pomiarowymi, Rys. 3.4.



Rys. 3.4 Wstawianie rejestratora sygnału

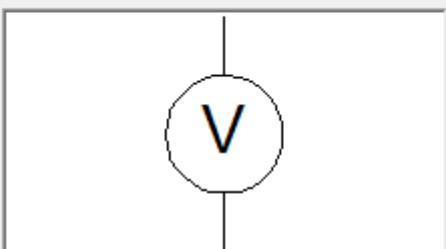
Wprowadzamy parametry rejestracji sygnałów – kanał zerowy wejścia i wyjścia oraz czas rejestracji.



Rys. 3.5 Parametry rejestratora

Wprowadzamy parametry woltomierza, Rys. 3.6.

Poziom [Woltomierz] - Properties



Symbol Name:

Description: ☐ Display

Part number:

Layer:

☒ Display in Parts Lists

Identification: ☒ Display

Component Parameters

Drawing Properties

☐ Show designation ☒ Show variable ☒ Show Unit

Designation	Value	Range	Unit	Display	Variable
Measure mode	☒ Instantaneous value				
	☐ Effective (RMS) voltage without DC component				
	☐ Effective (RMS) voltage				

Simulated values

Designation	Value	Range	Unit	Display	Variable
Voltage			V	☒	U...
Voltage, DC component			V	☐	U_dc...

☐ Show all settings

Rys. 3.6 Parametry voltomierza

Wprowadzamy parametry modułów analogowych we/wy oraz cyfrowych we/wy, Rys. 3.7.

AnalogIn [FluidSIM Port Wejść] - Properties

Auto Analog In Module 1 - Analog

0	1	2	3
---	---	---	---

AnalogIn

Component Parameters | **Drawing Properties**

Connect EasyPort via: Direct EasyPort connection

COM | OPC | DDE

Serial port: Automatically | Detect EasyPorts

Modul: 1

☒ Enable event buffer

Connector color:

Connection established		...
No connection		...

Voltage range: 0V ... 10 V

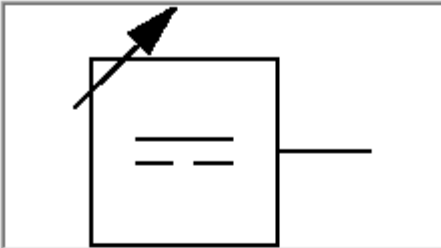
☐ Show all settings

OK Cancel Help

Rys. 3.7 Parametry modułu analogowego wejściowego

Wprowadzamy parametry generatora sygnału sterowania pompą, np. napięcie stałe o wartości z przedziału 4-10V, Rys. 3.8.

?3525 [Generator funkcyjny] - Properties



Symbol Name:

Description: Generator funkcyjny ☐ Display

Part number:

Layer: 1

☒ Display in Parts Lists

Generator Out: Identification: Generator Out ☒ Display

Component Parameters Drawing Properties Voltage profile

☐ Show designation ☒ Show variable ☒ Show Unit

Designation	Value	Range	Unit	Display	Variable
Signal type	Constant				
Frequency	Rectangle			☐	f...
Amplitude	Sine			☐	U_S...
y offset	Triangle			☒	U_offset...
	Constant				
	Profile				

Simulated values

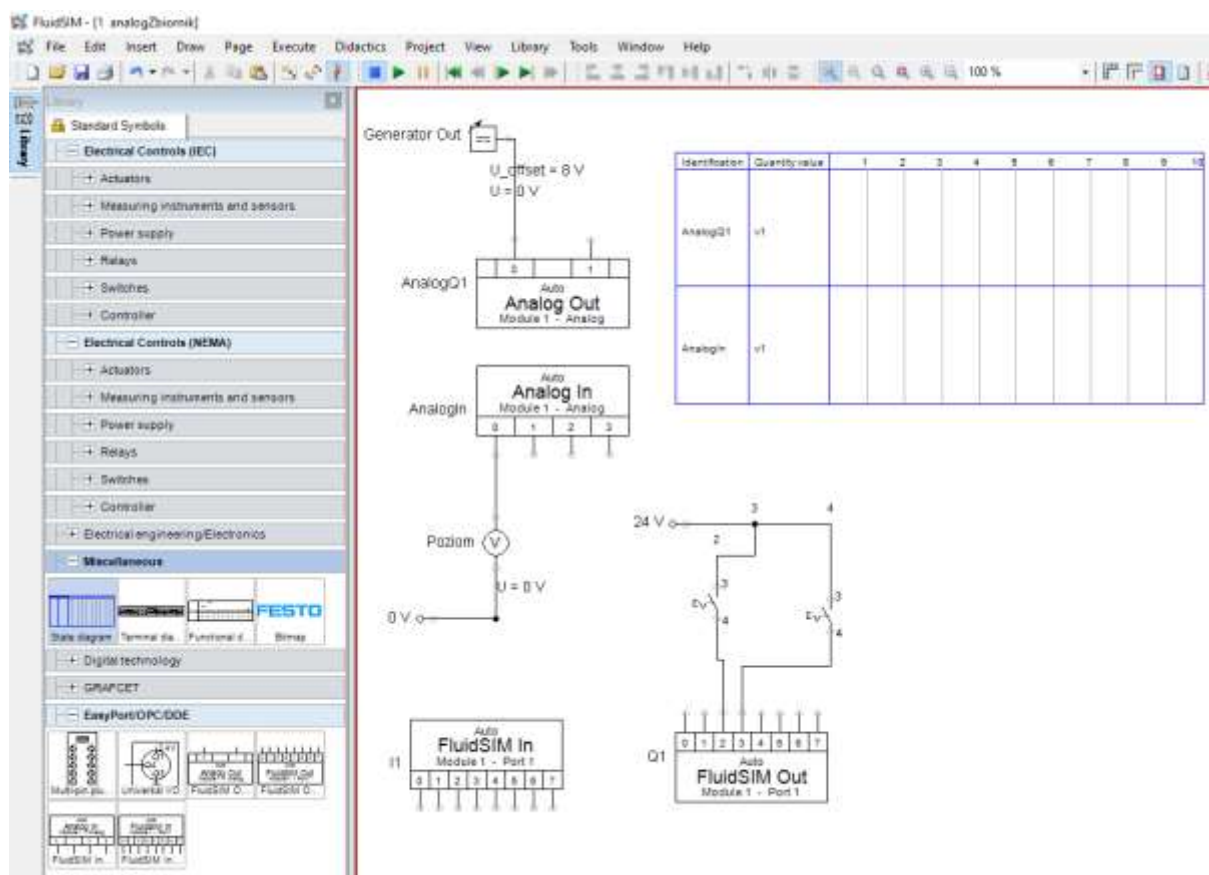
Designation	Value	Range	Unit	Display	Variable
Voltage			V	☒	U...

☐ Show all settings

OK Cancel Help

Rys. 3.8 Parametry generatora sygnału

Pełny program we Fluid SIM wygląda następująco jak na Rys. 3.9.



Rys. 3.9 Program we FluidSIM do rejestracji charakterystyk dynamicznych układu pompowego

4. Charakterystyki dynamiczne układu całkującego

4.1 Charakterystyka skokowa

Ustawiamy stałe napięcie pompy zasilającej, włączamy symulację, po zarejestrowaniu odpowiedzi drukujemy i odczytujemy nachylenie odpowiedzi. Odwrotność nachylenia zarejestrowanego sygnału jest stałą czasową akcji całkującej badanego układu, Rys. 4.1.

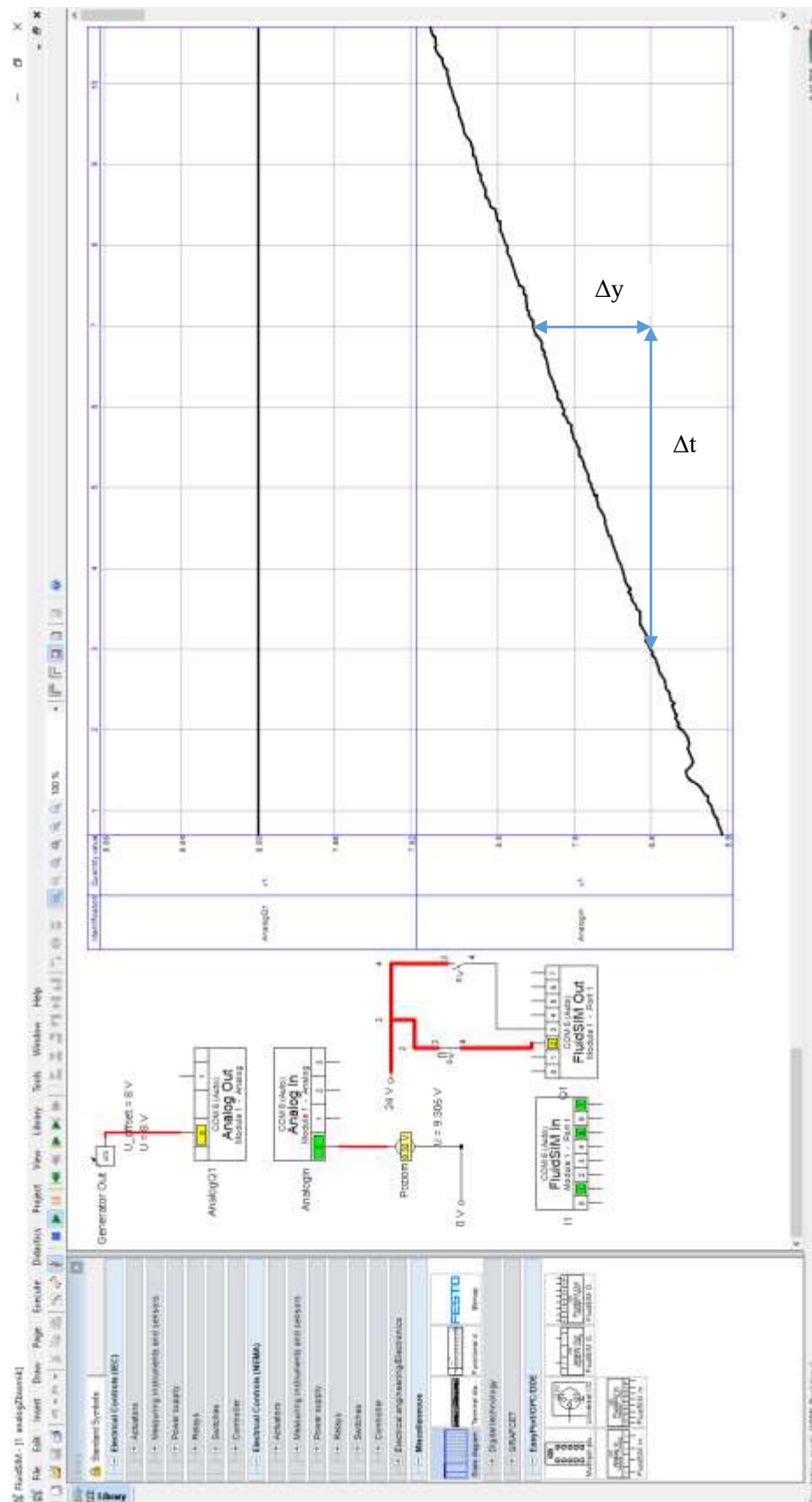
Przedstawiony układ jest obiektem rzeczywistym i wskazane jest wybrać najdłuższy odcinek prosty. Nieliniowość jest spowodowana kształtem zbiornika, jego pole podstawy zmienia się wraz z wysokością. Na początku zmiana jest silna, potem łagodna.

$$\tan \alpha = \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{1.3[V]}{4[s]} = 0.325 \left[\frac{V}{s} \right]$$

$$T_i = 3.078 \left[\frac{s}{V} \right]$$

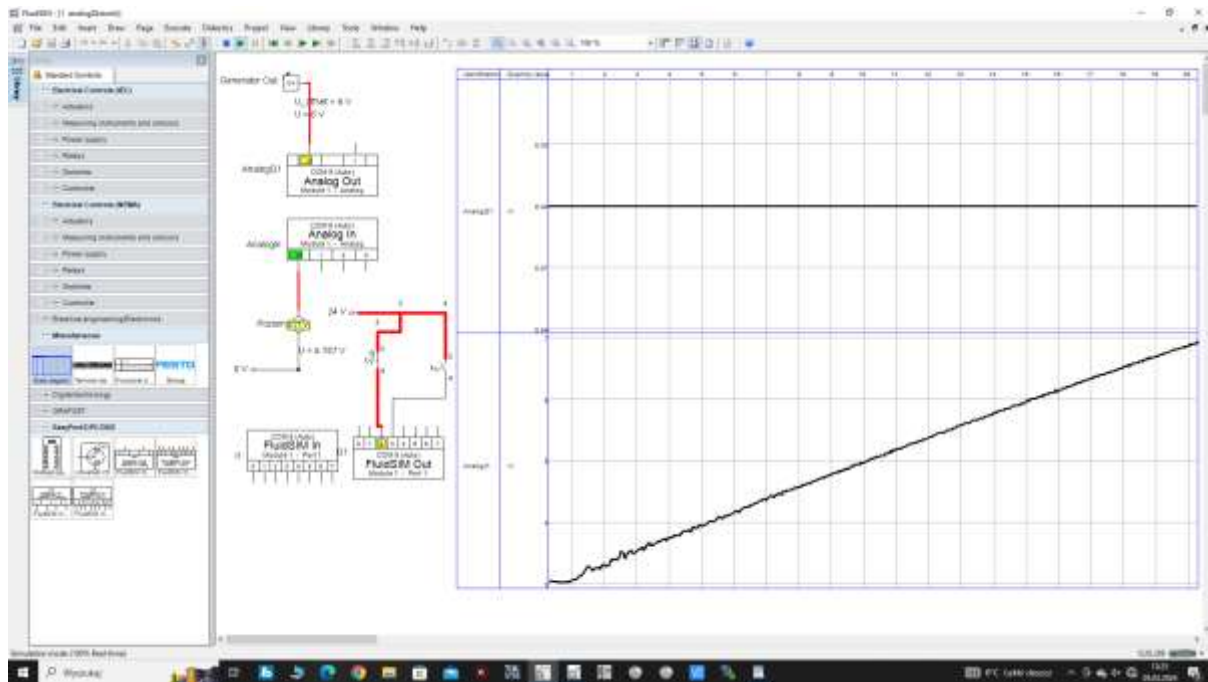
Każda kolejna charakterystyka skokowa jest wykonywana dla innego napięcia zasilania pompy, co oznacza zmianę natężenia przepływu wody i zmianę stałej czasowej akcji całkującej. Na parametry charakterystyki ma także wpływ stopień otwarcia zaworów na układzie pompowym. Dla ustalonych parametrów układu pompowego wartości akcji całkującej jest stała i obiekt ma cechy liniowe.

Załączamy symulację i rejestrujemy poziom wody w zbiorniku dla napięcia 8V, Rys. 4.1.



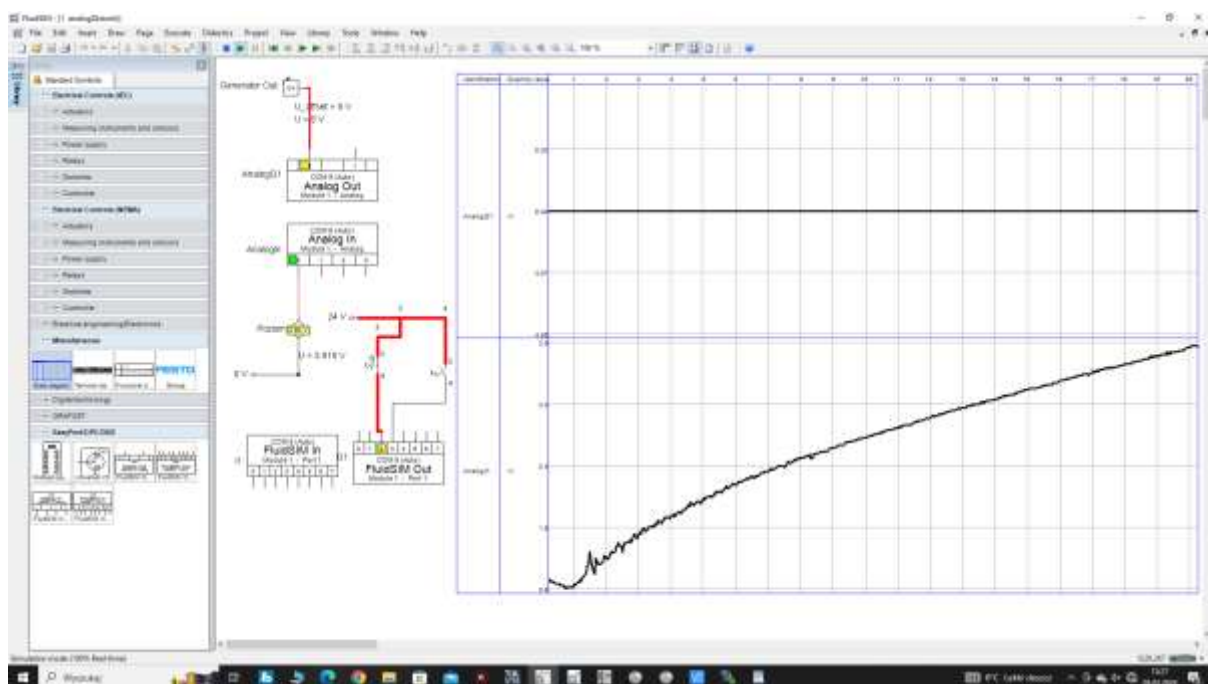
Rys. 4.1 Odczyt stałej czasowej akcji całkującej, $T_i = 3[\text{s/V}]$

Załączamy symulację i rejestrujemy poziom wody w zbiorniku dla napięcia 6V, Rys. 4.2.



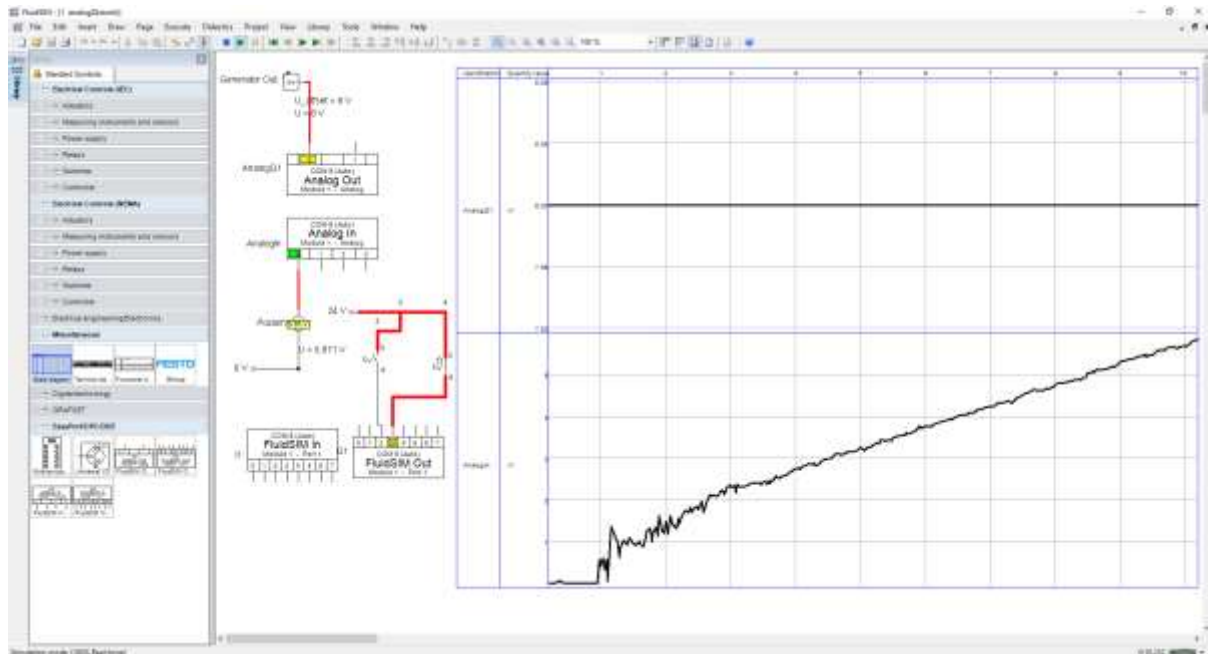
Rys. 4.2 Charakterystyka skokowa dla napięcia 6V, $T_i = 5[s/V]$

Załączamy symulację i rejestrujemy poziom wody w zbiorniku dla napięcia 5V, Rys. 4.3.



Rys. 4.3 Charakterystyka skokowa dla napięcia 5V, $T_i = 10[s/V]$

Załączamy symulację i rejestrujemy poziom wody w zbiorniku dla napięcia 10V, załączenie przyciskiem S3, Rys. 4.4.



Rys. 4.4 Charakterystyka skokowa dla napięcia 10V, $T_i = 2[s/V]$

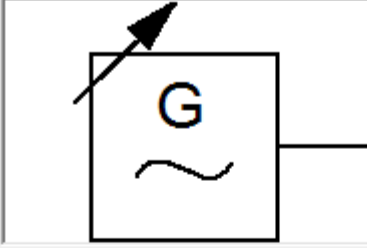
Do obliczenia rzeczywistego poziomu wody zbiorniku potrzebna jest charakterystyka czujnika pomiarowego poziomu.

Ultrasonic sensor – range 50-270mm

4.2 Charakterystyka częstotliwościowa – sinusoidalna

Do wykonania charakterystyki częstotliwościowej zmieniamy parametry generatora – ustawiamy sygnał sinusoidalny o częstotliwość $f = 0.01\text{Hz}$ i amplitudzie $A = 1\text{V}$ z przesunięciem 5V , Rys. 4.5.

Generator Out [Generator funkcyjny] - Properties



Symbol Name:

Description: ☐ Display

Part number:

Layer: ☐ Display in Parts Lists

Identification: ☒ Display

Generator Out

Component Parameters Drawing Properties Voltage profile

☐ Show designation ☒ Show variable ☒ Show Unit

Designation	Value	Range	Unit	Display	Variable
Signal type	Sine				
Frequency	0.01	0.01 .. 1E+05	Hz	☐	f...
Amplitude	1	0 .. 400	V	☐	U_S...
y offset	5	-400 .. 400	V	☒	U_offset...

Simulated values

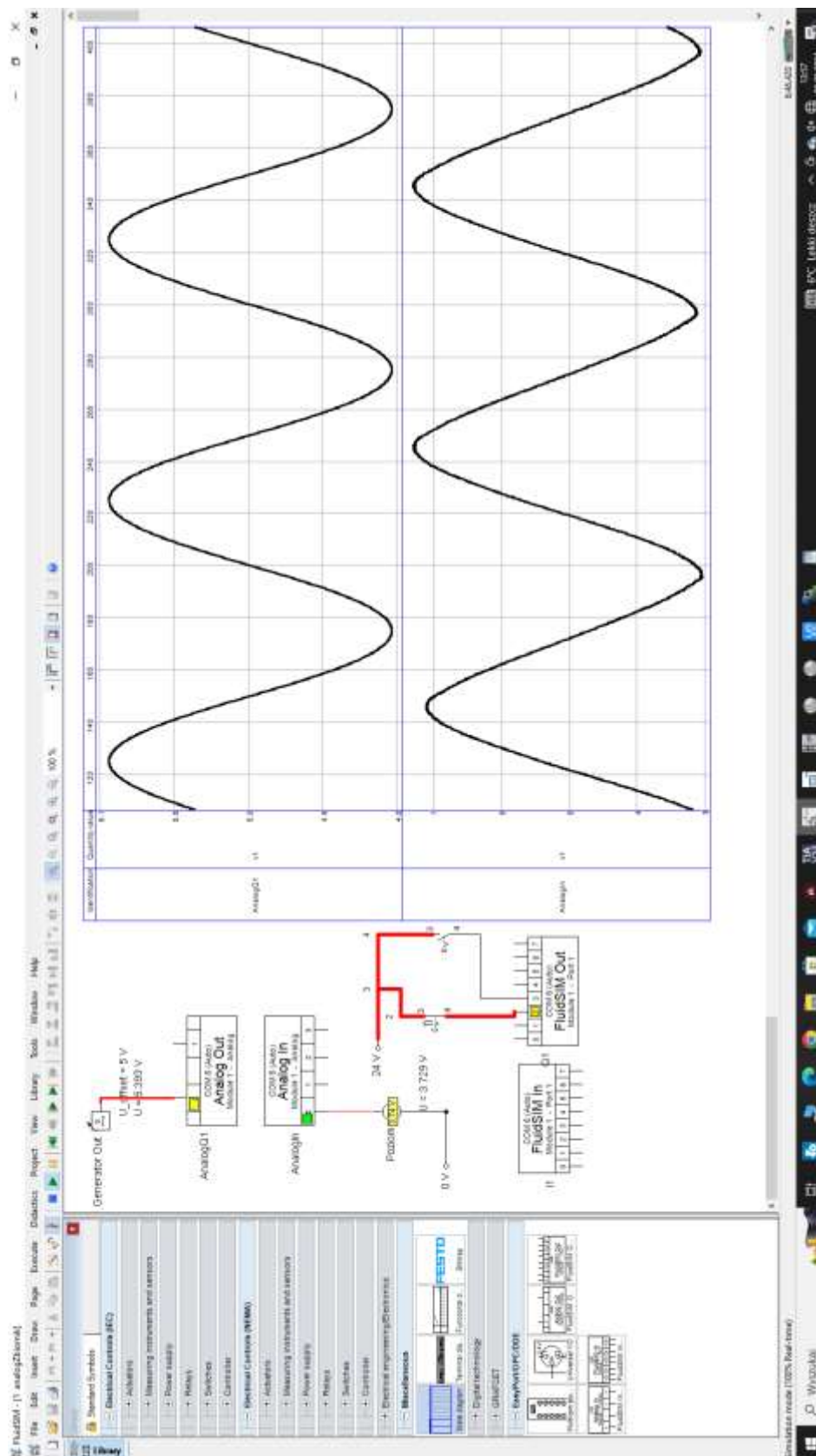
Designation	Value	Range	Unit	Display	Variable
Voltage			V	☒	U...

☐ Show all settings

OK Cancel Help

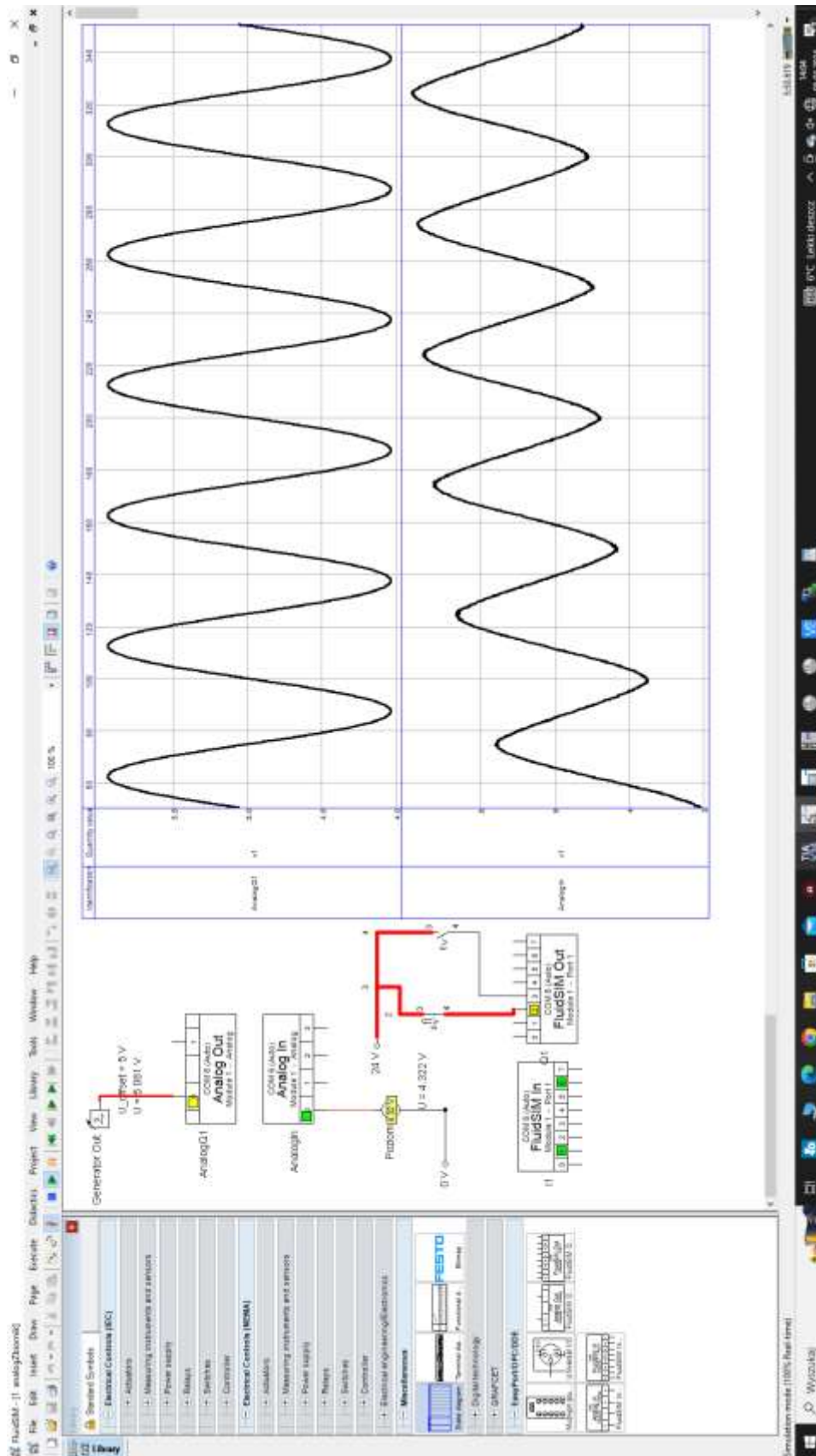
Rys. 4.5 Parametry generatora do wykonania charakterystyki częstotliwościowej

Zarejestrowaną odpowiedź dla $f = 0.01 \text{ Hz}$ przedstawia Rys. 4.6.

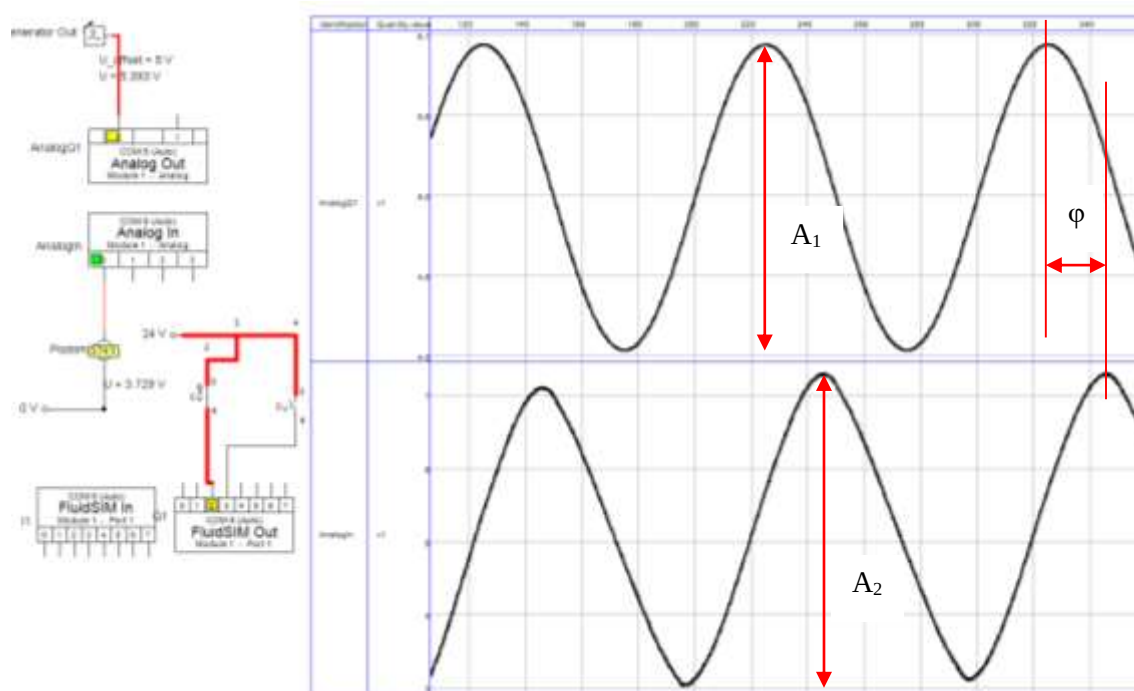


Rys. 4.6 Odpowiedź układu na sygnał sinusoidalny o częstotliwości $f = 0.01\text{Hz}$

Rys. 4.7 Odpowiedź układu na sygnał sinusoidalny o częstotliwości $f = 0.02\text{Hz}$

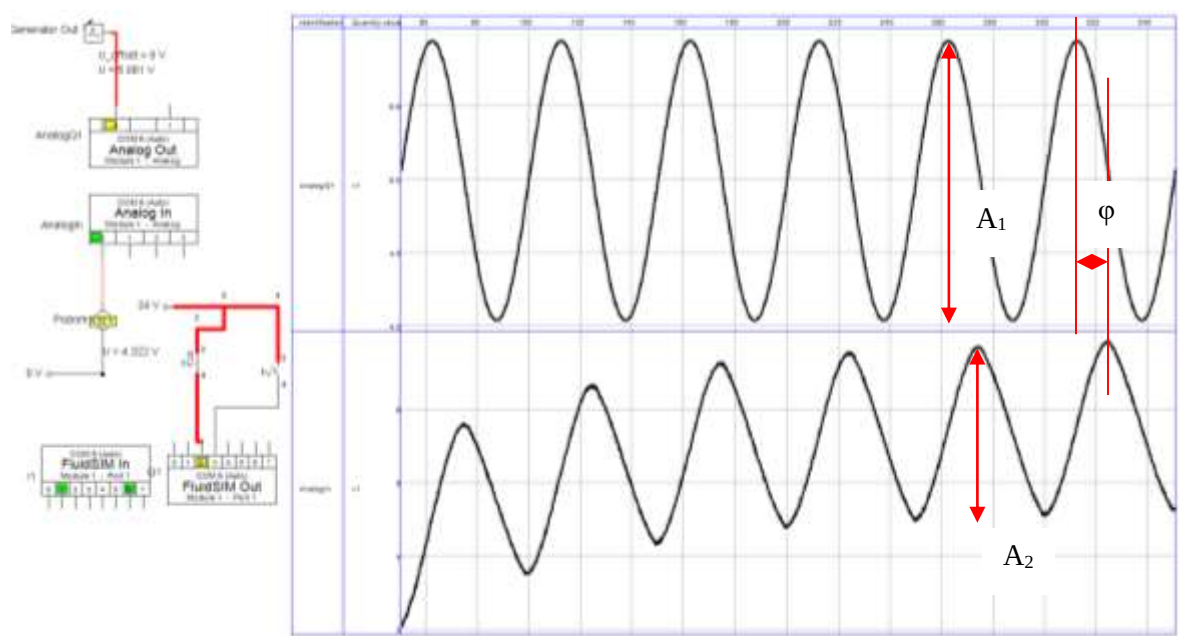


Odczytane parametry dla częstotliwości $f = 0.01\text{Hz}$



Rys. 4.8 Odczyt parametrów dla $f = 0.01\text{Hz}$; $A_1 = 2\text{V}$, $A_2 = 4.2\text{V}$, $\varphi = 25\text{s}$ to jest 90°

Odczytane parametry dla częstotliwości $f = 0.02\text{Hz}$



Rys. 4.9 Odczyt parametrów dla $f = 0.02\text{Hz}$; $A_1 = 2\text{V}$, $A_2 = 2.1\text{V}$, $\varphi = 12.5\text{s}$ to jest 90°

Obliczenia i wykres Bodego modułu

$$M = \frac{A_2}{A_1} = 2.1[-] \quad \log M = 0.3222$$

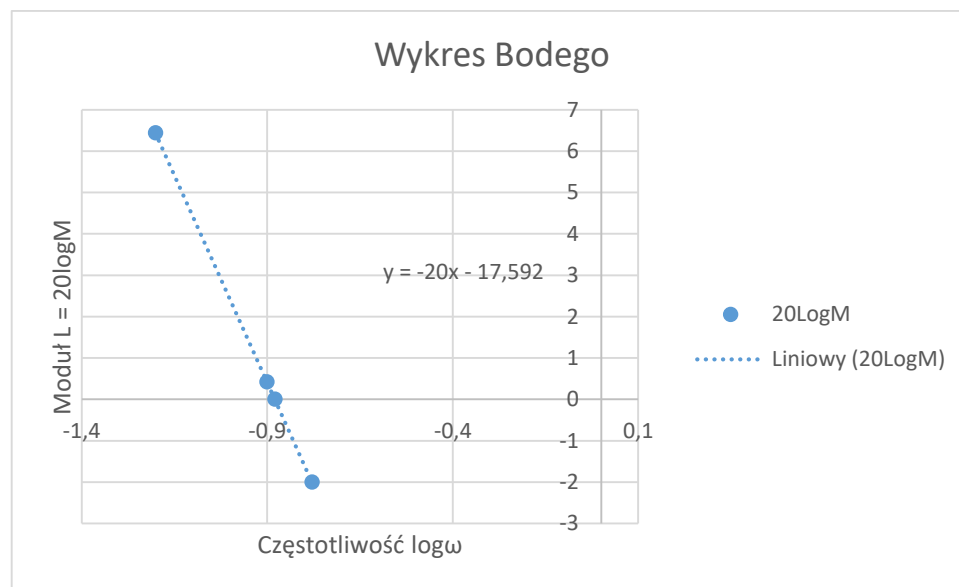
$$\varphi = \frac{1}{2}\pi[\text{rad}] \quad \log \omega = -1.2$$

$$\omega = \mathbf{0.06283}$$

$$M = \frac{A_2}{A_1} = 1.05[-] \quad \log M = 0.0212$$

$$\varphi = \frac{1}{2}\pi[\text{rad}] \quad \log \omega = -0.9$$

$$\omega = \mathbf{0.12566}$$



ω	Log ω	20LogM
0,062832	-1,20182	6,444386
0,125664	-0,90079	0,423786
0,131947	-0,8796	0
0,166112	-0,7796	-2

Z linii trendu otrzymujemy równanie prostej $y = -20x - 17.592$

Dla współrzędnej modułu $L = 0$ otrzymujemy $\log \omega = -0.8796$

Według równania członu całkującego $L = 20\log M = 20\log\left(\frac{1}{T_i\omega}\right) = -20\log T_i\omega$

$$-20\log T_i\omega = 0$$

$$\log T_i\omega = 0$$

$$\log T_i + \log \omega = 0$$

$$\log T_i = -\log \omega$$

$$\log T_i = 0.8796$$

Ostatecznie

$$T_i = 10^{0.8796}$$

Ostatecznie

$$\mathbf{T_i = 7.58[s]}$$

Control laboratory

Integral element

5. Przebieg ćwiczenia

- a) Połączyć przewody zasilające i sterujące, moduł EasyPort i stanowisko z komputerem,
- b) Załączyć program FluidSIM i skonfigurować połączenie ze stanowiskiem,
- c) Napisać program rejestracji sygnałów we FluidSIM,
- d) Zarejestrować charakterystyki skokowe układu i wydrukować,
- e) Zarejestrować charakterystyki częstotliwościowe układu i wydrukować,
- f) Wyznaczyć parametry członu całkującego według charakterystyk skokowych i częstotliwościowych,
- g) Wykonać sprawozdanie z wnioskami.

Spis ilustracji

Rys. 1.1 Charakterystyki dynamiczne członu całkującego: a) skokowa, b) impulsowa	4
Rys. 1.2 Sygnał harmoniczny przed i po przejściu przez liniowy układ dynamiczny	5
Rys. 1.3 Parametry odpowiedzi układu na wymuszenie sinusoidalne	5
Rys. 1.4 Charakterystyka członu całkującego idealnego Nyquista oraz logarytmiczne Bodego	6
Rys. 2.1 Elementy stanowiska dydaktycznego – układ pompowy	7
Rys. 2.2 Stanowisko z układem pompowym do badania charakterystyk członu całkującego	8
Rys. 2.3 Elementy sterowania - 1: I/O terminal XD1; 2: analogue terminal XD3; 3: relay, 2 switch-over contacts KF1; 4: relay, 1 switch-over contact KF2; 5: motor controller QA1; 6: starting current limiter QA0; 7: PE terminals XE0; 8: motor terminal XD20; 9: top hat rail	9
Rys. 2.4 Zasilanie układu	9
Rys. 3.1 Sterowanie pracą pompy	10
Rys. 3.2 Generator sygnału do sterowania prędkością obrotową pompy	10
Rys. 3.3 Pomiar sygnału poziomu wody	10
Rys. 3.4 Wstawianie rejestratora sygnału	11
Rys. 3.5 Parametry rejestratora	11
Rys. 3.6 Parametry voltomierza	12
Rys. 3.7 Parametry modułu analogowego wejściowego	13
Rys. 3.8 Parametry generatora sygnału	14
Rys. 3.9 Program we FluidSIM do rejestracji charakterystyk dynamicznych układu pompowego	15
Rys. 4.1 Odczyt stałej czasowej akcji całkującej, $T_i = 3[s/V]$	16
Rys. 4.2 Charakterystyka skokowa dla napięcia 6V, $T_i = 5[s/V]$	17
Rys. 4.3 Charakterystyka skokowa dla napięcia 5V, $T_i = 10[s/V]$	17
Rys. 4.4 Charakterystyka skokowa dla napięcia 10V, $T_i = 2[s/V]$	18
Rys. 4.5 Parametry generatora do wykonania charakterystyki częstotliwościowej	19
Rys. 4.6 Odpowiedź układu na sygnał sinusoidalny o częstotliwości $f = 0.01\text{Hz}$	20
Rys. 4.7 Odpowiedź układu na sygnał sinusoidalny o częstotliwości $f = 0.02\text{Hz}$	21
Rys. 4.8 Odczyt parametrów dla $f = 0.01\text{Hz}$; $A_1 = 2\text{V}$, $A_2 = 4.2\text{V}$, $\varphi = 25^\circ$ to jest 90°	22
Rys. 4.9 Odczyt parametrów dla $f = 0.02\text{Hz}$; $A_1 = 2\text{V}$, $A_2 = 2.1\text{V}$, $\varphi = 12.5^\circ$ to jest 90°	22