

**SILESIA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY  
FACULTY OF ENERGY AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF POWER ENGINEERING AND TURBOMACHINERY**

***POLITECHNIKA ŚLĄSKA  
WYDZIAŁ INŻYNIERII ŚRODOWISKA I ENERGETYKI  
INSTYTUT MASZYN I URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH***

**Flow automatic regulation system  
(A-7)**

***UKŁAD AUTOMATYCZNEJ REGULACJI  
PRZEPLYWU***

**Automatics Laboratory**

*Laboratorium automatyki*

Opracował/ *Developed*: dr inż. Łukasz Bartela  
mgr inż. Michał Jurczyk  
Sprawdził/ *Checked*: dr inż. Daniel Węcel

## 1. Aim of the exercise // Cel ćwiczenia

Understanding the principles operation of regulation systems and the impact of controller parameters on the regulation process.

// Zrozumienie zasad działania układów regulacji oraz wpływ parametrów regulatora na proces regulacji.

## 2. Introduction // Wstęp

The purpose of the regulation system is to maintain equality between the regulated variable  $y(t)$  and the set value  $y_w(t)$ . Schematic of a typical regulation system is shown in Figure 1.

// Zadaniem układu regulacji jest utrzymywanie równości między wielkością regulowaną  $y(t)$ , a wartością zadaną  $y_w(t)$ . Schemat typowego układu regulacji przedstawiono na Rys.1.

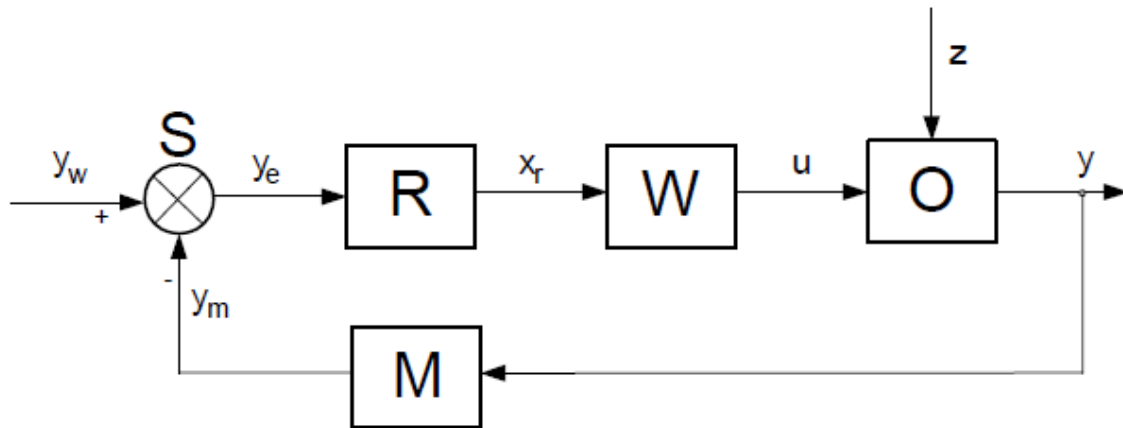


Figure 1. Scheme of regulation system

Rys.1. Schemat układu regulacji

The system consists of the following elements // W skład układu wchodzi następujące elementy:

- R - Regulator // Regulator
- W - Performing element // Człon wykonawczy
- O - Regulation element // Obiekt regulacji
- M - Measurement element // Człon pomiarowy

In the system shown in Figure 1 can also indicate an comparison element, whose task is to calculate the difference between the reference signal value  $y_w(t)$  and output signal  $y_m(t)$  obtained from the measurement system by the negative feedback loop. On the comparator element output we obtain an divergence signal  $y_e(t)$ .

// Dodatkowo w układzie, jak na rys.1 wymienić można element porównujący, którego zadaniem jest obliczanie różnicy między wartością sygnału zadanego  $y_w(t)$ , a wartością

sygnału wyjściowego  $y_m(t)$  otrzymaną z układu pomiarowego poprzez ujemne sprzężenie zwrotne. Na wyjściu elementu porównującego otrzymujemy sygnał uchybu  $y_e(t)$ .

$$y_e(t) = y_w(t) - y_m(t)$$

In a well-designed regulation system divergence value in a transient state should be as small as possible, while in steady state should be 0. The signal from the comparator element is transmitted to the controller. In this element is generated corresponding control signal  $x_r(t)$ . In the next step signal goes to the performing element, that directly changes the  $u(t)$  value (adjusted value), thereby appropriately changes the value of the output signal  $y(t)$ .

*// W dobrze zaprojektowanym układzie regulacji wartość uchybu w stanie nieustalonym powinna być jak najmniejsza, natomiast w stanie ustalonym powinna być równa 0. Sygnał z elementu porównującego jest przekazywany do regulatora, w którym to generowany jest odpowiedni sygnał sterujący  $x_r(t)$ . W kolejnym kroku sygnał ten trafia do członu wykonawczego, który już bezpośrednio zmienia wielkość nastawianą  $u(t)$ , tym samym odpowiednio zmieniając wartość sygnału wyjściowego  $y(t)$ .*

The division of regulation systems can be made in different ways. The most important include:

*// Podziału układów regulacji można dokonywać w różnoraki sposób. Do najważniejszych zaliczamy:*

### **1. Division because of the way the system works // Podział ze względu na sposób działania układu**

- **Stabilization systems** – the task of the system is to keep the output value constant despite changes in the size of the input value and disruptions in the system.

*// Układy stabilizacji - zadaniem układu jest utrzymywanie stałej wartości wielkości wyjściowej mimo zmian wielkości wejściowej i działających na układ zakłóceń.*

- **Tailing systems** – set point value in such systems varies with time in an unpredictable way - it is a random function of the time; the task of the regulation system is to generate an output signal that will keep up with changes in the size of the input.

*// Układy nadążne - wartość zadana w takich układach zmienia się w czasie w sposób nieprzewidywalny – jest losową funkcją czasu; zadaniem układu regulacji jest generowanie sygnału wyjściowego, który nadążał będzie za zmianami wielkości wejściowej.*

- **Programmable systems** – set point value changes over time in a predetermined manner; systems of this type are used in process systems of processing type

*// Układy programowalne - wartość zadana zmienia się w czasie w ustalony z góry sposób; układy tego rodzaju wykorzystywane są w układach technologicznych typu przetwórczego.*

- **Switch systems** - regulation is carried out on the basis enable or disable the appropriate process equipment in the correct order (sequence) and for the role of the regulator is responsible the most frequently logic system. There are two distinct groups of systems: combination and sequential.

*// Układy przełączające - regulacja odbywa się na zasadzie załączania lub wyłączania odpowiednich urządzeń procesu w odpowiedniej kolejności (sekwencji), a rolę regulatora pełni najczęściej układ logiczny. Rozróżnia się dwie grupy układów: kombinacyjne i sekwencyjne.*

## **2. Division due to the linearity of the system // Podział ze względu na liniowość układu**

- **Linear systems** - They can be described using linear algebraic equations, differential or integral. Linear system are true with a superposition principle.

*// Układy liniowe - można je opisać za pomocą równań liniowych algebraicznych, różniczkowych, różnicowych lub całkowych. Układy liniowe spełniają zasadę superpozycji.*

- **Nonlinear Systems** - system including at least one non-linear element is a non-linear system. In practice, each system is non-linear but approximately by assumes the linear system or linearized his non-linear characteristic. This is done in particular when the process is limited to a small area around a work point.

*// Układy nieliniowe układ zawierający przynajmniej jeden element nieliniowy jest układem nieliniowym. W praktyce każdy układ jest nieliniowy, lecz w przybliżeniu zakłada się jego liniowość lub linearyzuje się jego nieliniową charakterystykę. Robi się to zwłaszcza gdy działanie procesu ogranicza się do niewielkiego obszaru wokół pewnego punktu pracy.*

## **3. Division due to the nature of signals // Podział ze względu na charakter sygnałów**

- **Continuous Systems** - all signals (input and output) are continuous functions of time and may take any value in the area of their volatility.

*// Układy ciągłe - wszystkie sygnały (wejściowe i wyjściowe) są funkcjami ciągłymi w czasie i mogą przybierać dowolną wartość z obszaru swojej zmienności.*

- **Discrete systems** - the system is discreet, if at least one of its signal has a discrete character (accepts only certain values for specific arguments).

*// Układy dyskretne układ jest dyskretny, jeżeli przynajmniej jeden jego sygnał ma charakter dyskretny, tzn. przyjmuje tylko określone wartości dla określonych argumentów.*

### 3. Laboratory station // *Stanowisko laboratoryjne*

The regulation system on a laboratory is a constant value system. The regulated value is a stream of air flowing through the pipeline, which is pumped into it thanks to the work of the radial fan blast of an electric motor with variable rotation speed, so that it is possible to change the fan capacity.

*// Układ regulacji na stanowisku laboratoryjnym jest układem regulacji stałowartościowej. Wielkość regulowaną stanowi strumień przepływającego przez rurociąg powietrza, który tłoczony jest do niego dzięki pracy promieniowego wentylatora poddmuchu napędzanego silnikiem elektrycznym o zmiennej prędkości obrotowej (dzięki czemu możliwa jest zmiana wydajności wentylatora).*

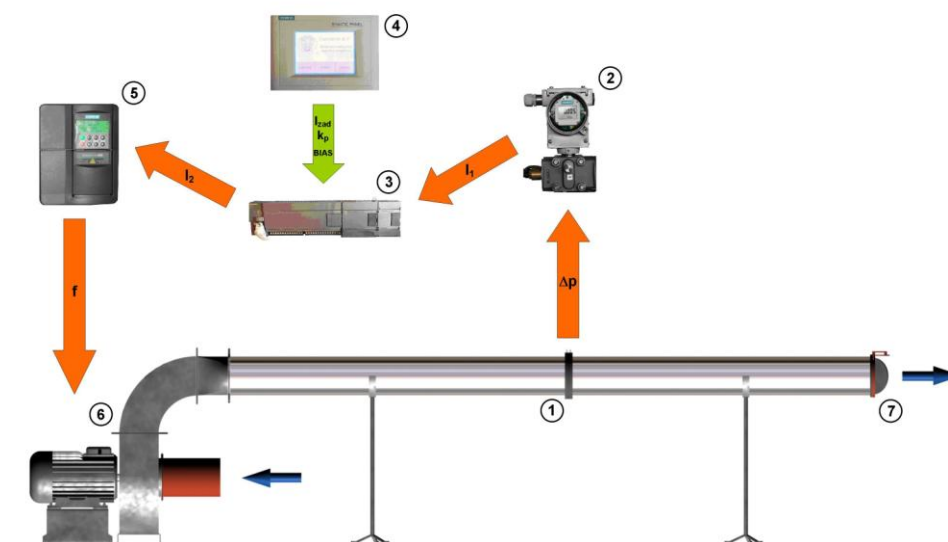


Figure 2. Scheme of laboratory station

*Rys.2. Schemat stanowiska laboratoryjnego*

In this system a stream of air flow is measured by measuring the pressure difference in the measuring orifice (1). On the basis of the measured difference pressure by the transmitter of measurement signal (2) transmit to the controller (3) current signal with a value  $4 \div 20$  mA, which corresponds to a pressure difference  $0 \div 800$  Pa. The value of current is a linear function of measure differential pressure.

*// W układzie strumień przepływającego powietrza mierzony jest na podstawie pomiaru różnicy ciśnień w kryzie pomiarowej (1). Na podstawie zmierzonej różnicy ciśnień przetwornik sygnału pomiarowego (2) przekazuje do sterownika (3) sygnał prądowy o wartości z przedziału  $4 \div 20$  mA, co odpowiada różnicy ciśnień  $0 \div 800$  Pa. Wielkość natężenia prądu jest funkcją liniową zmierzonej różnicy ciśnień.*

Based on the pressure difference measured at the measuring orifice, we can calculate the flow rate value

*// Na podstawie różnicy ciśnień zmierzonej na kryzie obliczyć możemy wartość natężenia przepływu*

$$q_v = k \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}}$$

where // gdzie:  $k$  – the proportionality coefficient // *współczynnik proporcjonalności*  
 $\rho$  –flowing air density // *gęstość przepływającego powietrza*

The measurement signal as a current signal goes to the controller (3). In the system is installed controller with a proportional part (P regulator), which controls the currents signals: input in the range 4÷20 mA and output in the range 0÷20 mA. The basic parameters characterizing the controller are:

*// Sygnał pomiarowy w postaci sygnału prądowego trafia do sterownika (3). W układzie do czynienia mamy z regulatorem o członie proporcjonalnym (regulator P), który operuje sygnałami prądowymi: na wejściu w zakresie 4÷20 mA, na wyjściu 0÷20 mA . Podstawowymi parametrami charakteryzującymi taki regulator są:*

$I_{zad}$  – the setpoint signal current value

*// wartość natężenia prądu sygnału zadanego;*

$k_p$  – enhancement of a proportional part - tells about regulator dynamics

*// wzmocnienie członu proporcjonalnego – mówi nam o dynamice pracy regulatora*

**BIAS** – value which is added to the output signal, if there is no regulation deviation controller give on the output a value  $I_2=BIAS$  - this allows the production by the system, in the case of the controller P works, value  $I_1=I_{zad}$

*// jest to wartość dodawana do sygnału wyjściowego, dzięki czemu w przypadku braku uchybu regulacji regulator daje na wyjściu wartość  $I_2=BIAS$  - pozwala to na generowanie przez układ, w przypadku pracy regulatora P, wartości  $I_1=I_{zad}$ .*

All the above values are introducing to the controller settings by the touch panel (4). *// Wszystkie powyższe wartości wprowadzamy do ustawień regulatora przez panel dotykowy (4).*

The signal goes to the frequency converter, which in the system functions as a performing element. With the frequency change of the electric motor supply current, is changed rotational speed which in turn leads to changes in flow rate - regulatory element works on the object (5). The new value of the flow rate measured on the flange ends first control loop and thereby begins the next one

*// Sygnał wielkości sterującej trafia do przekształtnika częstotliwości, który w układzie pełni rolę członu wykonawczego. Wraz ze zmianą częstotliwości prądu zasilającego silnik elektryczny, zmianie ulega prędkość obrotowa, co z kolei prowadzi do zmiany natężenia przepływu – człon nastawczy działa na obiekt (5). Nowa wartość tego przepływu zmierzona na kryzie kończy pierwszą pętlę regulacji i tym samym rozpoczyna kolejną.*

#### 4. Excercise //Przebieg ćwiczenia

1. For the regulator settings give by the teacher simulate the works of the regulation system, observing the impact of interference on the system works.

*//Dla wartości nastaw regulatora zadanych przez prowadzącego ćwiczenie przeprowadzić symulację pracy układu regulacji, obserwując wpływ zadawanego zakłócenia na pracę obiektu.*

2. Measure the flow rate as a function of changing the current frequency. Carry out the measurements for the object without disruption and for system with disruption. Disruption inflicts by a closing valve located at the exit of the system. The results of measurements included in the measurement card.

*//Przeprowadzić pomiar natężenia przepływu w funkcji zmieniającej się częstotliwości prądu. Pomiar przeprowadzić dla obiektu bez zakłócenia oraz z zakłóceniem. Zakłócenie zadawać przez przymknięcie dławika umieszczonego na króćcu wylotowym. Wyniki pomiarów zamieścić w karcie pomiarowej.*

3. Draw on the graph, as in Figure 3 characteristics of the object, the frequency converter and the measurer, which are described by the equations:

*// Nanieść na wykres, jak na rys.3 charakterystyki: obiektu, przekształtnika częstotliwości, oraz miernika, które opisane są równaniami:*

Object // Obiekt:

$$q_v \cdot f_{\max} = f \cdot q_{v \max}$$

Frequency converter // Przekształtnik częstotliwości:

$$f \cdot I_{2 \max} = I_2 \cdot f_{\max}$$

Measurer // Miernik :

$$I_1 = I_{1 \min} + a \cdot q_v^2$$

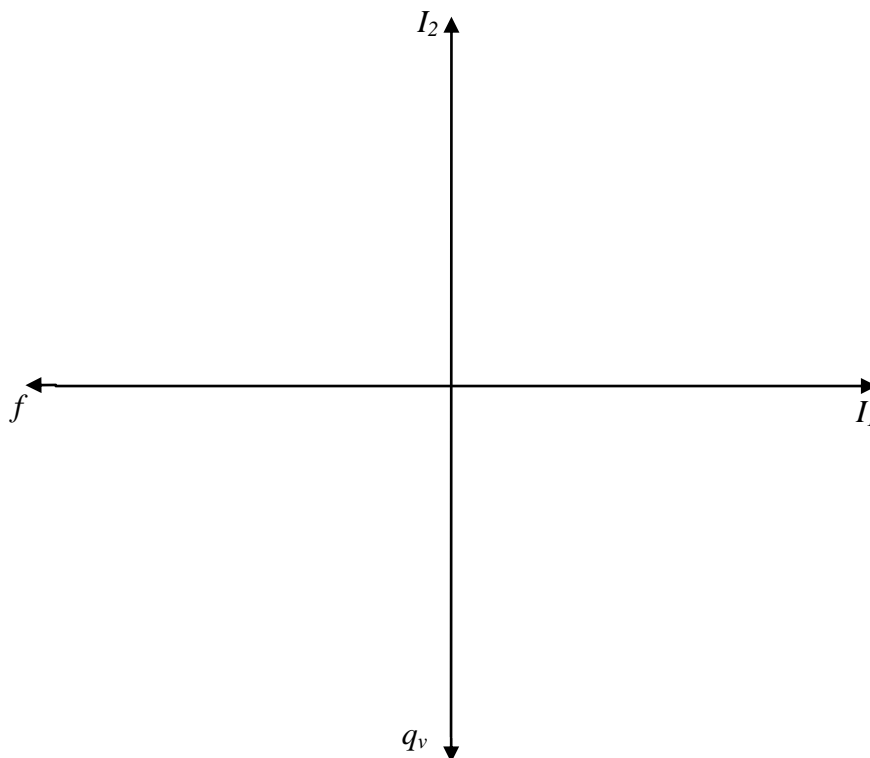


Figure 3. Graph for objects characteristics in automatic regulation system  
Rys.3. Wykres dla charakterystyk obiektów układu automatycznej regulacji

4. For the flow specified by the teacher calculate the BIAS value and set signal value  $I_{zad}$ . The values  $q_{v\ z\ ad}$  enter in the appropriate box on the measure card.

*// Dla wartości strumienia przepływu zadanego przez prowadzącego ćwiczenie obliczyć wartość parametru BIAS oraz wartość sygnału zadanego  $I_{zad}$ . Wartości  $q_{v\ z\ ad}$  wpisać w odpowiednią rubrykę w karcie pomiarowej.*

5. For given  $k_p$  (strengthening value) draw on the graph regulator characteristics, which is described by the equation:

*// Dla zadanej przez prowadzącego ćwiczenie wartości wzmocnienia  $k_p$  nanieść na wykres, jak na rys.3, charakterystykę regulatora, która opisana jest równaniem:*

$$\text{Regulator //Regulator: } I_2 = k_p \cdot (I_{zad} - I_1) + \text{BIAS}$$

The strengthening value entered in the appropriate box of measuring card.

*// Wartość wzmocnienia wpisać w odpowiednią rubrykę karty pomiarowej.*

6. Calculate the flow rate which was obtained using automatic regulation system for the system work with disruption.

*// Obliczyć wartość natężenia przepływu jaką uzyskamy stosując układ automatycznej regulacji w przypadku pracy obiektu przy zakłóceniu.*

7. Perform calculations as in point 6 for a system in which the controller strengthening value has been doubled.

*// Przeprowadzić obliczenia jak w pkt.6 dla układu, w którym wartość wzmocnienia regulatora została podwojona.*

8. Report should be summarize by appropriate conclusions.

*// Sprawozdanie z przeprowadzonego ćwiczenia podsumować odpowiednimi wnioskami.*

## **5. Report //Sprawozdanie**

A complete report should include *// Kompletne sprawozdanie powinno zawierać:*

- Title page *// Stronę tytułową,*
- Aim of the exercise *// Cel ćwiczenia,*
- Short theoretical introduction *// Krótki wstęp teoretyczny,*
- Schemes of analyzed system *// Schemat analizowanego układu,*
- Measurement card *// Kartę pomiarowe,*
- Graph for objects characteristics in automatic regulation system *// Wykres dla charakterystyk obiektów układu automatycznej regulacji*
- Conclusions *// Wnioski.*



The report must be delivered to the teacher at the latest two weeks after classes // *Sprawozdanie należy dostarczyć prowadzącemu zajęcia najpóźniej dwa tygodnie po przeprowadzeniu zajęć.*

### 6. Measurement card // *Karta pomiarowa*

<b>I<sub>zad</sub></b>	<b>f</b>	<b>Δp</b>	<b>q<sub>v</sub></b>	<b>I<sub>1</sub></b>	<b>I<sub>2</sub></b>
mA	Hz	Pa	m <sup>3</sup> /s	mA	mA