

Silesian University of Technology
Faculty of Energy and Environmental Engineering

Politechnika Śląska
Wydział Inżynierii Środowiska I Energetyki
Instytut Maszyn I Urządzeń Energetycznych

Electric controllers
Regulatory elektryczne

Automatics laboratory
Laboratorium automatyki

(A-VIII)

Developed by / *Opracował*: dr inż. Daniel Węcel

1. Aim of exercise / *Cel ćwiczenia*

The aim of the exercise is to learn about the construction, operation, and ways of tuning electric controllers. During the exercise, the time (step response) characteristics of the controllers will be measured and their processing functions will be checked.

// Celem ćwiczenia jest poznanie budowy działania oraz sposobu strojenia regulatorów elektrycznych. W czasie ćwiczenia zdejmowane są charakterystyki czasowe regulatorów i sprawdzane są ich funkcje.

2. Introduction / *Wprowadzenie*

2.1. Controller / *Regulator*

Controller - one of the control circuit elements. The controller's task is to generate the appropriate control signal, so that the controlled object reaches the setpoint in the shortest possible time.

// Regulator - jeden z elementów składających się na obwód regulacji. Zadanie regulatora polega na wygenerowaniu odpowiedniego sygnału sterującego, aby obiekt regulowany w jak najkrótszym czasie osiągnął wartość zadaną.

The controller is used to bring the object to the desired condition or to improve the unfavorable features of the controlled object. The controller can eg. improve the dynamics of the controlled object (the motor will reach the desired speed more quickly). Incorrect use can lead to instability of the control circuit.

// Regulator służy do doprowadzenia obiektu dożądanego stanu lub poprawy niekorzystnych cech obiektu regulowanego. Regulator może np. poprawić dynamikę obiektu regulowanego (silnik będzie szybciej osiągnął żądaną prędkość). Błędne użycie może prowadzić do niestabilności obwodu regulacji.

2.2. List of electric regulators / *Podział regulatorów elektrycznych*

Due to the nature of the output signal, the electric controllers are divided into:

1. **continuous controllers** (these are controllers whose output signal is a continuous function in time) which include controllers:
 - "P" - proportional

- "PI" - proportional-integral
 - "PD" - proportional-derivative
 - **"PID" - proportional-integral-derivative**
2. **regulators discontinuous operation** (these are controllers whose output signals have a discontinuity such as: „step function") which include controllers:
- two-positions (also known as: on-off, bang-bang, hysteresis)
 - three-positions (double-setpoint)
 - time proportional.

// Ze względu na charakter sygnału wyjściowego regulatory elektryczne dzielimy na:

1. **regulatory ciągłe** (są to takie regulatory, których sygnał wyjściowy jest funkcją ciągłą w czasie) do których zaliczamy regulatory:
 - „P” – proporcjonalny
 - „PI” – proporcjonalno - całkowity
 - „PD” – proporcjonalno - różniczkowy
 - **„PID” – proporcjonalno - całkowito - różniczkowy**
2. **regulatory nieciągłego działania** (są to regulatory, których sygnał wyjściowy posiada nieciągłość typu: „skok") do nich zaliczamy regulatory:
 - „dwupolożeniowy”
 - „trójpołożeniowy,,
 - „impulsowy”.

2.3. The automatic control system (ACS) // Układ automatycznej regulacji (UAR)

Electric ACS consist generally of:

- measurement transducers that convert measured quantities into standard electrical signals
- mathematical blocks performing on standard electrical signals simple mathematical operations such as: addition, subtraction, multiplication, division, exponentiation and root,

- operation panels enabling the operator to observe ACS and possible intervention in acs
- controllers performing the most important role in ACS,
- actuators that convert standard electrical signals from the controller to the control signal.

// U.A.R. elektryczny składa się najczęściej z:

- przetworników pomiarowych zamieniających wielkości mierzone na standardowe sygnały elektryczne,
- bloków matematycznych poddających standardowe sygnały elektryczne prostym działaniom matematycznym takim jak: dodawanie, odejmowanie, mnożenie, dzielenie, potęgowanie i pierwiastkowanie,
- stacyjek operacyjnych (manipulacyjnych) umożliwiających operatorowi obserwację działania U.A.R. i ewentualną interwencję w U.A.R.,
- regulatorów pełniących najważniejszą rolę w U.A.R.,
- nastawników zamieniających standardowe sygnały elektryczne z regulatorów na nastawy.

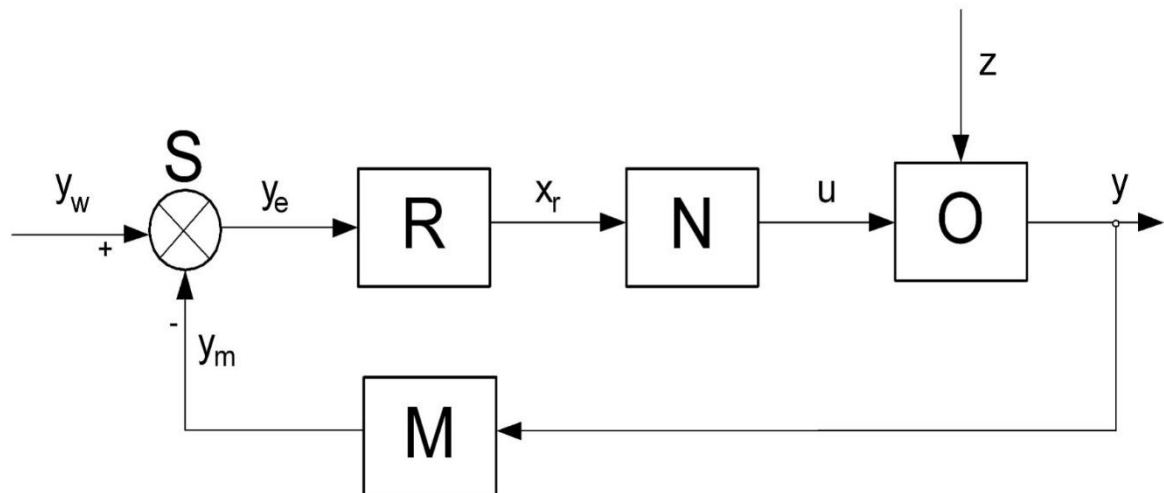


Fig. 1. General scheme of the automatic control system
 //Rys.1. Ogólny schemat układu automatycznej regulacji

S – comparison device (summing point)	<i>S – element porównujący (sumator)</i>
R – controller	<i>R – regulator</i>
N – setting device (actuator)	<i>N – nastawnik (urządzenie nastawcze)</i>
O – controlled object	<i>O – obiekt regulacji</i>
M – measuring transducer (meter of controlled value)	<i>M – przetwornik pomiarowy (miernik wielkości regulowanej)</i>
y_w – setpoint	<i>y_w – wartość zadana wielkości regulowanej</i>
y_m – measured value	<i>y_m – wartość zmierzona</i>
y_e – deviation (error) of regulation	<i>y_e – odchyłka (uchyb) regulacji</i>
x_r – output signal from the controller	<i>x_r – sygnał wyjściowy z regulatora</i>
u – control signal	<i>u – sygnał regulujący</i>
y – controlled value	<i>y – sygnał regulowany</i>
z – disturbance	<i>z – zakłócenie</i>

2.4. Standard electrical signals / *Standardowe sygnały elektryczne*

Standard analog electrical signals are divided into voltage and current:

- voltages with ranges: (0/1 ÷ 5 V); (0/2 ÷ 10 V); (- 10 ÷ +10 V). They are easy to do mathematical processing but not resistant to disturbances.
- currents with ranges : (0 ÷ 5 mA); (0 ÷ 10 mA); (0/4 ÷ 20 mA); (-5 ÷ +5 mA). Signals of which the smallest value is positive allow for easy detection of "break in circuit" faults. The current signal in the range (4 ÷ 20 mA) also allows the transmitter to operate in a two-wire system, where the same pair of wires transmit the measurement signal and supplies electric energy to measuring transducer

// *Standardowe analogowe sygnały elektryczne dzielą się na napięciowe i prądowe:*

- *napięciowe o wartościach należących do przedziałów: (0/1 ÷ 5 V); (0/2 ÷ 10 V); (-10 ÷ +10 V). Łatwo poddają się obróbce matematycznej lecz nie są odporne na zakłócenia.*
- *prądowe o wartościach należących do przedziałów: (0 ÷ 5 mA); (0 ÷ 10 mA); (0/4 ÷ 20 mA); (-5 ÷ +5 mA). Sygnały których najmniejsza wartość jest dodatnia pozwalają na łatwe wykrywanie awarii typu „przerwa w obwodzie”. Sygnał prądowy o zakresie (4 ÷ 20 mA) umożliwia ponadto pracę*

przetwornika pomiarowego w systemie dwuprzewodowym polegającą na tym, że przesyłanie sygnału pomiarowego i zasilanie odbywa się tą samą parą przewodów.

3. Laboratory tests and measurements / *Badania i pomiary*

3.1. Determination of measured quantities / *Regulator ciągły „PID”*

The ARC-21 controller is a PID controller with input from one to four standard (0 ÷ 5 mA) measurement signals (the controller responds to the weighted average of these signals) and one standard (0 ÷ 5 mA) setpoint signal. The output signal of the controller is a standard signal (0 ÷ 5 mA).

When the regulator is ejected from the housing, it can be tuned by setting it continuously and stepwise: proportional band - x_p ; integral time - T_i ; derivative time - T_d ; weight of measured signals: x_1 ; x_2 ; x_3 ; x_4 ; and limiting integrating action. The differential element of the regulator is located in the path of the measured value which prevents the ACS "restless" behavior during change of the setpoint. The controller works with the A.D.S.-42 operating station which allows:

- to set in the controller the setpoint value,
- setting for actuator the safe value,
- reading the deviation (error) of regulation (-20% ÷ + 20%),
- reading the controller output signal (0 ÷ 100%),
- manual control of the object using the buttons: "+ / -".

// Regulator ARC-21 jest regulatorem P.I.D. do którego wejść możemy wprowadzić od jednego do czterech standardowych (0÷5 mA) sygnałów wielkości mierzonej (regulator reaguje na średnią ważoną tych sygnałów) oraz jeden sygnał standardowy (0÷5 mA) wielkości zadanej. Sygnałem wyjściowym regulatora jest sygnał standardowy (0÷5 mA).

Po wysunięciu regulatora z obudowy można go nastroić ustawiając w sposób ciągły i skokowy: zakres proporcjonalności - X_p ; czas całkowania - T_i ; czas różniczkowania - T_d ; wagi sygnałów wielkości mierzonej: x_1 ; x_2 ; x_3 ; x_4 ; oraz ograniczenie całkowania. Element różniczkujący regulatora umieszczony jest w torze wielkości mierzonej co zapobiega „niespokojnemu" zachowaniu się UAR w czasie zmian wartości zadanej. Regulator współpracuje ze stacyjką operacyjną A.D.S.-42 która umożliwia:

- wprowadzenie do regulatora wartości zadanej,

$T_i = \dots\dots$				$I_{wej} = \dots\dots \text{ mA}$					
Point	1	2	n
$I_{wyj} \text{ (mA)}$									
$t \text{ (s)}$									

Change the T_i value in the range 0.5 to 3 with interval 0.5. // *Należy zmieniać wartość T_i w zakresie 0.5 do 3, co 0.5.*

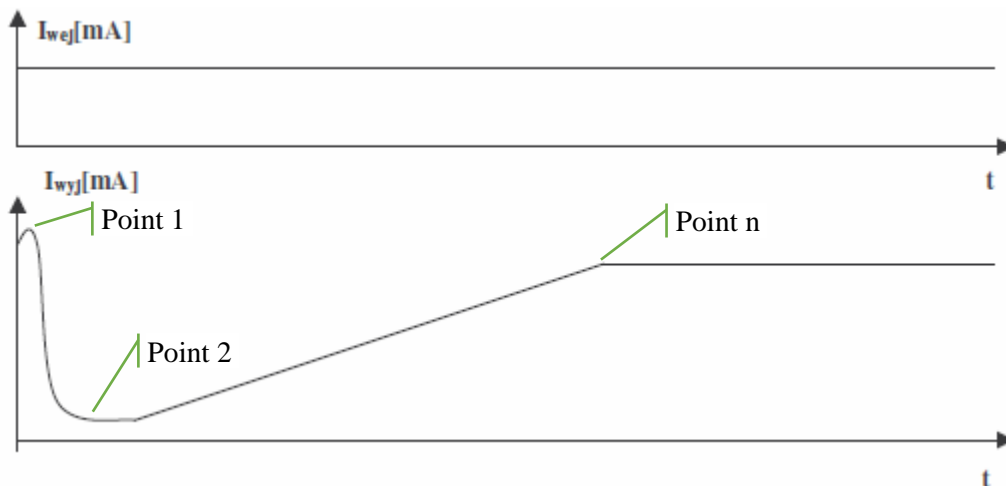
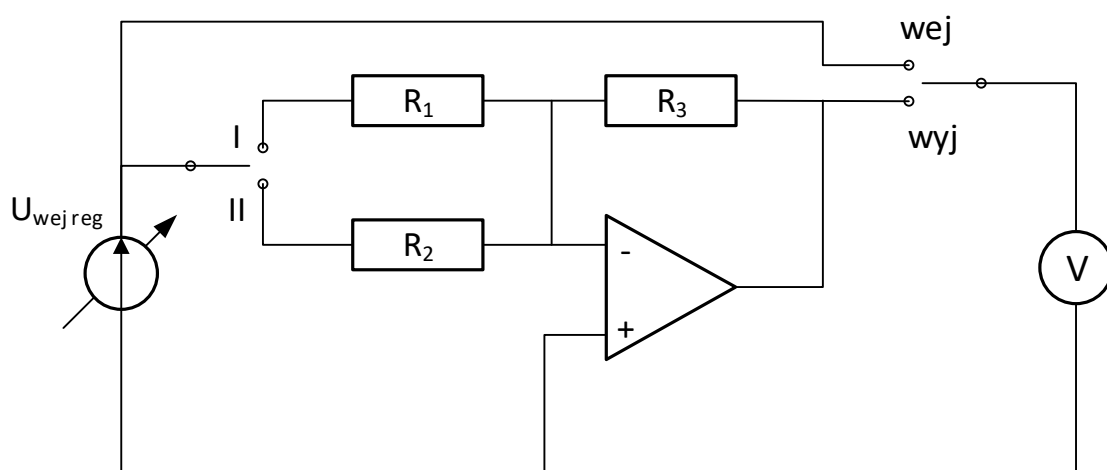


Fig. 3. Time characteristics (step response)

//Rys.3. Charakterystyki czasowe (odpowiedź na skok jednostkowy):

3.2. Proportional controller / Regulator proporcjonalny



Element proporcjonalny

Fig. 1.2. Diagram of electric proportional element

//Rys.1.2. Schemat elektryczny elementu proporcjonalnego

Należy tak regulować wartością U_{wej} aż określi się minimalną (U_{wej_min}) i maksymalną (U_{wej_max}) wartość przy których zaczyna i kończy się zmieniać wartości U_{wyj} . W wyznaczonym zakresie $U_{wej_min} - U_{wej_max}$ (obszarze proporcjonalności) dokonać odczytu ok. 10 wartości U_{wyj} . Zapisać od jakiego napięcia U_{wej} nie zmienia się wartość U_{wyj} .

Table / Tabela 1.2

Pozycja I	U_{wej} (V)										
	U_{wyj} (V)										
Pozycja II	U_{wej} (V)										
	U_{wyj} (V)										

Determine the proportional band x_p and the gain factor k_p . // Wyznacz zakres proporcjonalności x_p i współczynnik wzmacnienia k_p .

$$x_p = \frac{\frac{\Delta U_{wej}}{U_{wej_max} - U_{wej_min}}}{\frac{\Delta U_{wyj}}{U_{wyj_max} - U_{wyj_min}}} \cdot 100\%$$

ΔU_{wej} , ΔU_{wyj} – zakres zmian wartości wejściowej i wyjściowej w obszarze proporcjonalności.

$$k_p = \frac{100}{X_p}$$

3.3. On-off element / Element dwupolożeniowy

Table / Tabela 1.4

U_{wej} (V)										
U_{wyj} (V)										

Determine the deadband and hysteresis of the two-position element. // Określ strefę nieczułości i histerezę elementu dwupolożeniowego.

4. Report / Sprawozdanie

The report must include:

1. The title page (*exercise name, section number, the last and first names of the students doing the exercise and the exercise date*).
2. Short information about types of used electric controllers.
3. Diagram of the measured elements.
4. Tables listing the measurement results together with calculations.
5. Characteristic of elements described in 3.1 ÷ 3.4.
7. Remarks and conclusions (*concerning the characteristics, their deviations from theoretical characteristics, correctness of the measuring method etc.*).

// Sprawozdanie powinno zawierać:

1. *Stronę tytułową (nazwę ćwiczenia, numer sekcji, nazwiska i imiona ćwiczących oraz datę wykonania ćwiczenia).*
2. *Krótką informację dotyczącą wykorzystywanych regulatorów elektrycznych*
3. *Schemat badanych elementów.*
4. *Tabele wyników pomiarowych wraz z obliczeniami.*
5. *Charakterystyki elementów opisanych w punkcie 3.1 ÷ 3.4.*
7. *Uwagi i wnioski (dotyczące przebiegu charakterystyk, ich odstępstw od przebiegów teoretycznych, poprawności metody pomiaru itp.).*

Literatura:

W. Findeisen „Technika regulacji automatycznej”.