



Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny  
w Szczecinie

## **Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki**

### Laboratorium z podstaw automatyki

#### **Dobór parametrów układu regulacji,**

#### **Identyfikacja parametrów obiektów dynamicznych**

*Kierunek studiów: Transport, Stacjonarne pierwszego stopnia*

Prowadzący:  
dr hab. inż. Arkadiusz Parus  
mgr inż. Mateusz Saków

Szczecin 2015 r.

## Spis treści:

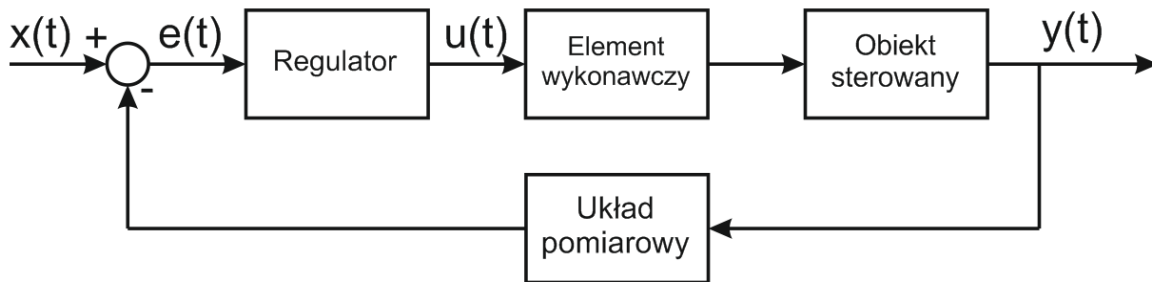
I. Cel ćwiczenia.....	3
II. Dobór układów i parametrów regulacji .....	3
III. Regulacja nieciągła - dwustanowa .....	6
IV. Identyfikacja obiektów dynamicznych .....	7
V. Sprawozdanie.....	9
VI. Literatura .....	10
VII. Indywidualne zestawy danych.....	11

## I. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest nabycie podstawowych umiejętności doboru układu regulacji do sterowania obiektami automatyzacji. Student w ramach ćwiczenia będzie analizował wpływ parametrów regulacji na stabilność pracy całego symulowanego systemu.

## II. Dobór układów i parametrów regulacji

Regulatory zajmują szczególne miejsce w automatyce. Ich podstawowym zadaniem jest uzyskanie wartości zadanej  $x(t)$  przez wielkość regulowaną  $y(t)$ , poprzez sprowadzenie błędu (uchybu) regulacji do wartości zerowej. Układ regulacji śmiało można uznać za dynamiczny dzięki temu, że osiągnięcie celu regulacji odbywa się w trakcie procesu regulacji w skończonym czasie. Ogólny schemat układu regulacji został przedstawiony na Rys. 1.



Rys. 1 Schemat układu automatycznej regulacji uwzględniającego układu regulacji z torem pomiarowym

Analizując powyższy rysunek widać, że występują tam cztery charakterystyczne sygnały:

- $y(t)$  - wielkość regulowana,
- $u(t)$  - sygnał sterowania,
- $e(t)$  - błąd (uchyb) regulacji,
- $x(t)$  - wartość zadana,

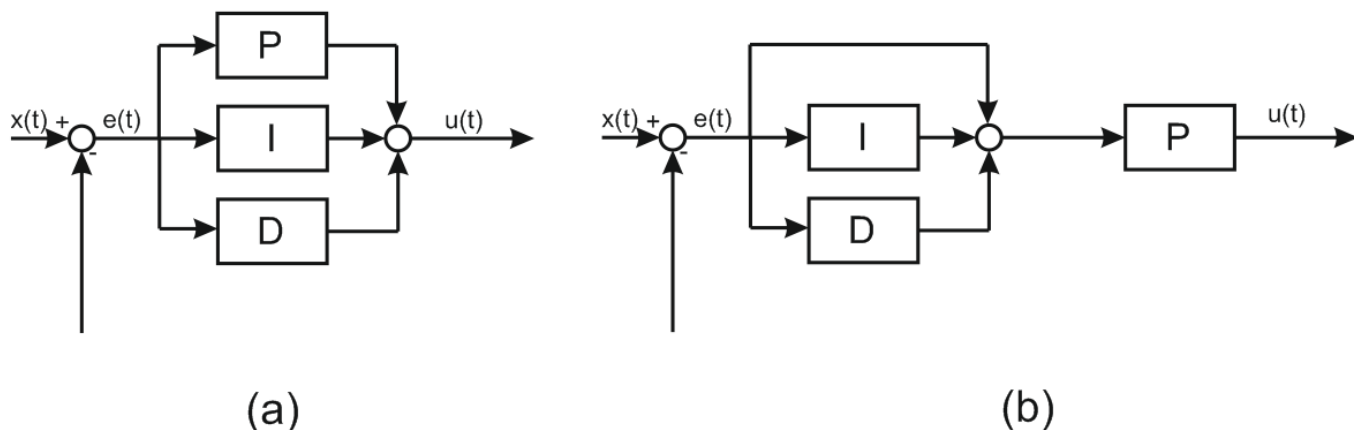
Przy projektowaniu układu regulacji istotne znaczenie ma dobór odpowiedniego regulatora do sterowania danym procesem. Procedurze doboru podlegają także parametry takich regulatorów.

### Dobór regulatora - sposób regulacji ciągłej

Podstawowym regulatorem, który jest w stanie regulować jakikolwiek proces w sposób ciągły jest regulator PID. Regulator PID składa się z członów:

- P - wzmocnienia pochodzącego od członu proporcjonalnego
- I - wzmocnienia pochodzącego od członu całkującego
- D - wzmocnienia pochodzącego od członu różniczkującego

Schemat blokowy regulatora PID został przedstawiony na Rys. 2.



Rys. 2 Schematy blokowo regulatora PID

Jak widać na Rys. 2 występują dwa typy regulatorów PID, transmitancję pierwszego - (a), można opisać wzorem (1):

$$PID_a = k + \frac{1}{sT_i} + sT_d \quad (1)$$

gdzie człon  $P = k$ , człon  $I = \frac{1}{sT_i}$ , a człon  $D = sT_d$ . Zaletą regulatora 2.a, jest możliwość niezależnego, indywidualnego dobrania odpowiednich wzmacnień.

Regulator z Rys. 2.b, można natomiast opisać równaniem (2):

$$PID_b = k \left( 1 + \frac{1}{sT_i} + sT_d \right) \quad (2)$$

W przypadku tego regulatora wzmacnienie proporcjonalne występuje jedno dla całej transmitancji.

## Dobór nastaw regulatora - sposób regulacji ciągłej

Pierwszym sposobem doboru nastaw regulatora jest podejście eksperymentalne zw. także **eksperymentem Zieglera - Nicholasa** lub **metodą drgań (oscylacji) granicznych**. Sposób ten nadaje się do doboru nastaw dla obiektów, które np. nie są w stanie zniszczyć samych siebie bądź zagrozić osobom, które poszukują tych nastaw. Istnieją cztery charakterystyczne kroki doboru tych nastaw:

1. Przełączenie regulatora PID lub innego regulatora tylko na działania proporcjonalne,
2. Stopniowe zwiększanie wzmacnienia członu proporcjonalnego, do momentu wystąpienia pracy oscylacyjnej całego systemu. Określenie wzmacnienia  $K_{gr}$  granicznego,
3. Pomiar okresu oscylacji  $T_{osc}$  dla wzmacnienia granicznego,
4. Dobór nastaw dla odpowiedniego regulatora z Tab. 1

**Tab. 1** Zawiera parametry nastaw regulatora - metoda Zienglera - Nicholasa

Metoda	Typ regulatora	$k$	$T_i$	$T_d$
Drgań granicznych	P	$0,5K_{gr}$	-	-
	PI	$0,45K_{gr}$	$0,85T_{osc}$	-
	PID	$0,6K_{gr}$	$0,5T_{osc}$	$0,125T_{osc}$
Gdzie $k, T_i, T_d$ są parametrami regulatora				

Drugim sposobem jest wyznaczenie parametrów  $K_{gr}$  oraz  $T_{osc}$  w sposób analityczny. Korzysta się z warunków granicznych, wynikających z kryterium Nyquista. Kryterium Nyquista pozwala na zbadanie stabilności układów regulacji zamkniętej na podstawie charakterystyki amplitudowo - fazowo - częstotliwościowej. **Oczywiście również w przypadku metody analitycznej należy zmodyfikować transmitancję regulatora, która uwzględniać będzie tylko wzmocnienie proporcjonalne.** System traktujemy jako układ otwarty bez sprzężenia zwrotnego.

Istnieją dwie procedury poszukiwania parametrów granicznych:

1. Rozwiązania zestawu równań (3), względem  $K_{gr}, \omega_{gr}$

$$\begin{aligned} |G(j\omega_{gr})K_{gr}| &= 1 \\ \varphi(\omega_{gr}) &= -\pi \end{aligned} \quad (3)$$

2. Rozwiązania zestawu równań (4), względem  $K_{pgr}, \omega_{gr}$

$$\begin{aligned} \text{Im}\{G(j\omega_{gr})K_{gr}\} &= 0 \\ \text{Re}\{G(j\omega_{gr})K_{gr}\} &= -1 \end{aligned} \quad (4)$$

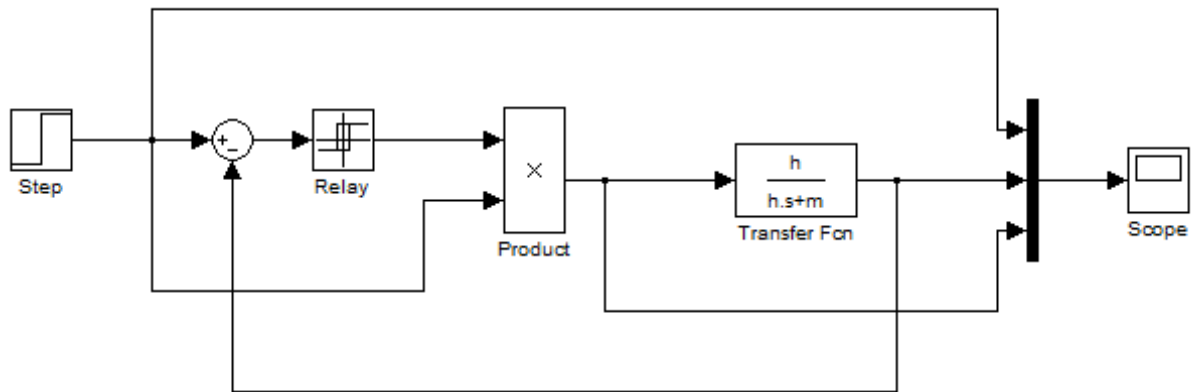
gdzie  $\omega_{gr} = \frac{2\pi}{T_{osc}}$ , a  $G(j\omega_{gr})$ , jest transmitancją systemu całego systemu traktowane jako układ otwarty.

Po wyznaczeniu parametrów  $T_{osc}$  oraz  $K_{gr}$ , korzystamy z tab. 1 i dobieramy nastawy tak jak w przypadku metody doświadczalnej.

Kolejna metoda, to **metoda linii pierwiastkowych**, gdzie liniami pierwiastkowymi nazywamy zbiór pierwiastków mianownika transmitancji układu zamkniętego dla zmieniającego się wzmocnienia proporcjonalnego  $k$ . Ideą metody jest wyznaczenie linii pierwiastkowej, na podstawie których przewidywane jest zachowanie się układu. Metoda ta nie wymaga znajomości odpowiedzi skokowej obiektu, ponieważ oczywiste jest w jakim obszarze pierwiastki są rzeczywiste, a w jakim zespolone i jakie zachowania obiektu im będą im towarzyszyły.

### III. Regulacja nieciągła - dwustanowa

Regulacja dwustanowa znajduje duże zastosowanie, najczęściej w układach regulacji temperatury jako jeden z prostych sposobów automatycznej regulacji. Tego rodzaju regulatory stosowane są ze względu na powszechne stosowanie dwustanowych elementów wykonawczych, np. grzałek, grzejników itp. Całkujący charakter wielu sterowanych obiektów, nie ma wpływu na jakość sterowania pochodzącego z regulatora dwustanowego, tym samym przebiegi uzyskane dzięki regulatorowi można uznać za stosunkowo dobrej jakości. Schemat - Rys. 3.

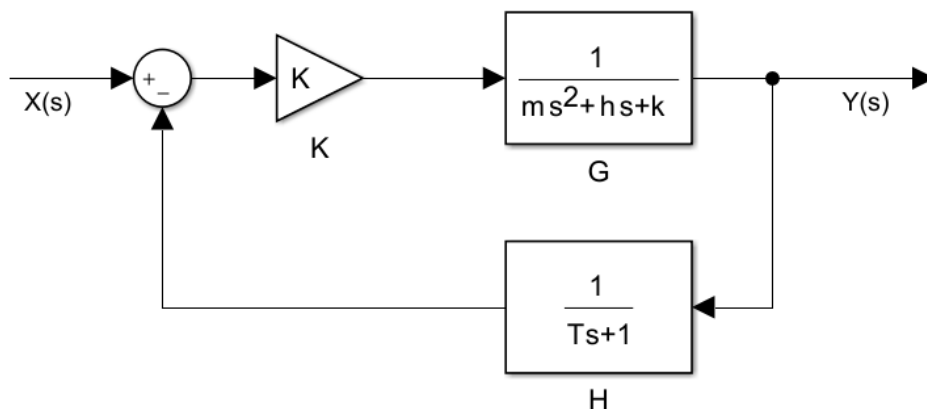


Rys. 3 Schemat systemu wyposażone w regulator dwustanowy

Na rysunku widać obiekt inercyjny pierwszego rzędu o parametrach  $m$  oraz  $h$ . Obiekt ten naśladuje zachowanie grzałki. Obiekt Relay pełni rolę regulatora dwustanowego podejmującego decyzję, w którym momencie włączyć obiekt, a w którym wyłączyć. Step jest to oczywiście podanie sygnału, który odzwierciedla sytuację podłączenia grzałki do zasilania.

#### Zadanie do wykonania w ramach sprawozdania:

Dla układu z Rys. 4,



Rys. 4 Schemat systemu automatyzacji  $G_o(s)$  wyposażony w regulator

gdzie  $T = \frac{m}{2}$ :

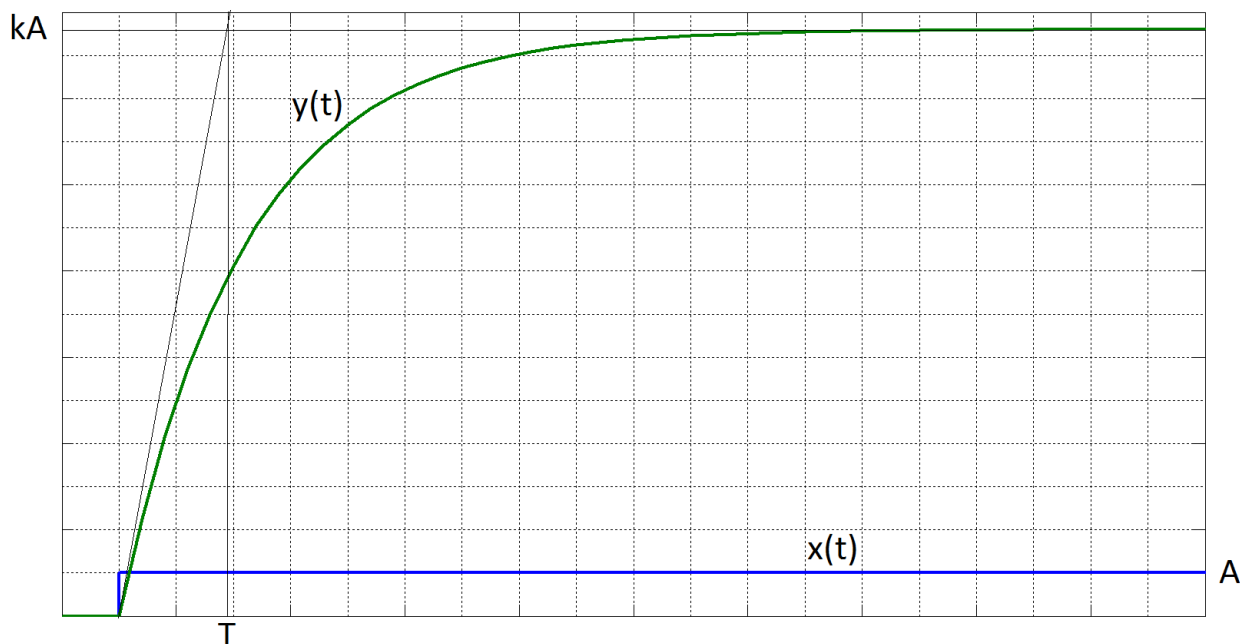
1. Dobrać parametry regulatora, metodą doświadczalną oraz przedstawić przebiegi odpowiedzi na skok jednostkowy o wartości 1, dla modelu  $G_o(s)$ :
  - a) dla regulatora P,
  - b) dla regulatora PI,
  - c) dla regulatora PID,
2. Dobrać parametry regulatora, metodą analityczną oraz przedstawić przebiegi odpowiedzi na skok jednostkowy o wartości 1, dla modelu  $G_o(s)$ :
  - a) dla regulatora P,
  - b) dla regulatora PI,
  - c) dla regulatora PID,
3. Zbudować model systemu wykorzystujący regulator dwustanowy (Przyjąć wartość skoku jednostkowego po 1 sekundzie do wartości k). Parametry modelu m oraz h. Parametry obiektu Relay: *Switch on point* =  $2h$ , *Switch off point* =  $h$ .
  - a) Przedstawić przebiegi odpowiedzi na skok jednostkowy – *step*
  - b) Dokonać modyfikacji parametrów *Switch on point* i *Switch off point*, tak aby regulator włączał zasilanie części i rzadziej - przedstawić przebiegi.
4. Odpowiedzieć na pytania:
  - a) Określić czas po jakim system uzyska stan ustalony po odpowiedzi na skok jednostkowy (podać metodę wyznaczania nastaw), dla modelu  $G_o(s)$ :
    - dla regulatora P,
    - dla regulatora PI,
    - dla regulatora PID,
  - b) Określić wartość uchybu statycznego po odpowiedzi na skok jednostkowy (podać metodę wyznaczania nastaw), dla modelu  $G_o(s)$ :
    - dla regulatora P,
    - dla regulatora PI,
    - dla regulatora PID,
  - c) Określić wartość przeregulowania po odpowiedzi na skok jednostkowy (podać metodę wyznaczania nastaw), dla modelu  $G_o(s)$ :
    - dla regulatora P,
    - dla regulatora PI,
    - dla regulatora PID,
  - d) Dla regulatora dwustanowego określić w pływ parametrów *Switch on point* i *Switch off point* na kształt pętli histerezy systemu sterowania.

## IV. Identyfikacja obiektów dynamicznych

Procesy automatycznej regulacji są procesami dynamicznymi, czyli zmieniającymi się w czasie. Ze względu na ten fakt konieczne jest analizowanie układów automatycznej regulacji pod kątem znajomości modeli dynamicznych wchodzących w skład całego systemu sterowania. Często bywa tak, że modele nie mają podanych parametrów i na podstawie danych charakterystyk należy je wyznaczyć.

Postępowanie, którego celem jest wyznaczenie struktury oraz parametrów poszukiwanego modelu zwane jest **identyfikacją**. Rozróżnia się dwa podejścia do zidentyfikowania obiektu. Pierwszy to badanie zjawisk fizycznych zachodzących w identyfikowanym obiekcie. Drugi sposób to obserwowanie i analizowanie sygnałów wyjściowych podczas pracy obiektu. Na laboratoriach zostanie dokonana identyfikacja obiektu, za pomocą obserwacji sygnału wyjściowego z obiektu.

Pierwszym etapem identyfikacji jest wykreślenie charakterystyki odpowiedzi obiektu, na tle sygnału zadanego oraz zaznaczenie linii charakterystycznych dla tej metody identyfikacji - rys 5.



Rys. 5 Procedura identyfikacji obiektu

Charakterystyka z Rys. 5 dotyczy obiektu inercyjnego pierwszego rzędu (5):

$$G_i(s) = \frac{k}{Ts + 1}. \quad (5)$$

Jak jest to widoczne na Rys. 5, możliwe jest odczytanie (wyliczenie wzmocnienia obiektu  $k$ ), bezpośrednio z charakterystyki  $y(t)$  obiektu, która jest odpowiedzią na skok jednostkowy  $x(t)$ . Kolejny etap to wykreślenie stycznej jak na Rys. 5 do przebiegu odpowiedzi  $y(t)$ , w celu wyznaczenia stałej czasowej  $T$ . Punktem charakterystycznym, dla którego odczytujemy stałą czasową  $T$ , jest przecięcie się osi wzmocnienia ze styczną. Ważne jest, aby pomniejszyć wartość odczytu czasu z osi odciętych o moment, w którym został podany sygnał zadany  $>0$ .

Zadanie do wykonania w ramach sprawozdania:

1. Wyznaczyć parametry  $k$  oraz  $T$  obiektu inercyjnego pierwszego rzędu na podstawie charakterystyki ze strony [www.sm19740.zut.edu.pl](http://www.sm19740.zut.edu.pl).
2. Porównać zidentyfikowany model z modelem z otrzymanych danych.



## V. Sprawozdanie

Sprawozdanie ma mieć formę podobną do skryptu. Wymagane jest aby zawierało:

1. Stronę tytułową (grupa dziekańska, podgrupa laboratoryjna, imię i nazwisko, datę oddania, temat laboratorium, nazwę laboratorium).
2. Odpowiednie rozdziały zgodnie ze skryptem:
  - a) Cel ćwiczenia
  - b) **Stabilność liniowych układów ciągłych** (wnioski w postaci odpowiedzi na pytania mają znajdować się dokładnie pod dotyczącą ich charakterystyką)
  - c) **Wpływ sprzężenia zwrotnego na stabilność obiektów** (wnioski w postaci odpowiedzi na pytania mają znajdować się dokładnie pod dotyczącą ich charakterystyką)
  - d) **Dobór układów i parametrów regulacji** (wnioski w postaci odpowiedzi na pytania mają znajdować się dokładnie pod dotyczącą ich charakterystyką, na jednej charakterystyce ma być widoczny sygnał wymuszenia oraz odpowiedzi modelu)
  - e) **Identyfikacja obiektów dynamicznych** (wnioski w postaci odpowiedzi na pytania mają znajdować się dokładnie pod dotyczącą ich charakterystyką, na jednej charakterystyce ma być widoczny sygnał wymuszenia oraz odpowiedzi modelu)
  - f) **Wnioski** - ogólne wnioski dotyczące ćwiczenia
3. Na laboratorium przewidziane są 4godziny.
4. Sprawozdanie należy złożyć przed rozpoczęciem kolejnego ćwiczenia w formie papierowej, w przeciwnym wypadku ocena ze sprawozdania będzie obniżana co dwa tygodnie o wartość 1. Sytuacja dotyczy także sprawozdań odrzuconych z powodu negatywnej oceny.
5. Każdy ze studentów posiada swój własny zestaw danych (Parametrów  $m$ ,  $h$ ,  $k$ ) udostępniony w rozdziale VII skryptu. Numer zestawu odpowiada liście obecności ze strony [www.sm19740.zut.edu.pl](http://www.sm19740.zut.edu.pl)
6. Oceny:
  - a) 2 - brak oddania sprawozdania w terminie (pkt. 4) lub sytuacja, w której zwłoka w oddaniu sprawozdania obniżyła ocenę do poziomu  $<3$ . Student dopuścił się oszustwa lub skorzystał z danych innych niż zostały mu przydzielone.
  - b) 2,5 - 3,5 - Student wykonał wszystkie polecenia, jednak nie odpowiedział na żadne z pytań postawionych w skrypcie. Student nie przedstawił także sensowych wniosków. O ocenie waży jakość i poprawność wykonanych zadań ze skryptu. (2,5 nie zalicza sprawozdania). Sprawozdanie zostało oddane w terminie pkt. 4.
  - c) 4 - 4,5 - Student wykonał wszystkie polecenia, odpowiedział na każde z pytań postawionych w skrypcie. Ilość odpowiedzi, które będą poprawne waży o ocenie. Sprawozdanie zostało oddane w terminie pkt. 4.
  - d) 5 - Student wykonał wszystkie polecenia, odpowiedział na każde z pytań postawionych w skrypcie. Szcątkowa ilość odpowiedzi była niepoprawna. Student prawidłowo sformułował wnioski z ćwiczenia laboratoryjnego. Sprawozdanie zostało oddane w terminie pkt. 4.

## VI. Literatura

- [1] A. Dębowski, automatyka podstawy teorii, Warszawa: WNT, 2012.
- [2] Z. Trzaska, Modelowanie i symulacja układów elektrycznych, Warszawa: Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, 1993.
- [3] C. Anna, Modele dynamiki układów fizycznych dla inżynierów, Warszawa: WNT, 2008.
- [4] W. D. Henryk Urzędniczok, Laboratorium podstaw automatyki oraz wybór przykładów do ćwiczeń audytoryjnych, Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2012.

## VII. Indywidualne zestawy danych

W Tab. 2. zostały przedstawione indywidualne dane dla każdego ze studentów.

*Tab. 2 Zawiera unikalne parametry modelu dla studentów*

	Parametr	Grupa dziekańska 1			Parametr	Grupa dziekańska 2	
Lp.	m	h	k	Lp.	m	h	k
1	1,67	5,8	61	1	0,81	5,5	170
2	0,38	9,8	137	2	0,74	14,2	73
3	0,39	9,6	200	3	0,63	5,9	166
4	0,29	13,6	150	4	0,18	9,4	177
5	0,93	8,1	61	5	0,55	11,1	76
6	0,08	6,6	87	6	0,69	11,3	195
7	0,64	6,9	116	7	1,26	13,8	130
8	1,01	6,3	145	8	0,88	19,9	96
9	0,54	8,9	199	9	0,12	17,6	135
10	1,2	8,2	88	10	1,48	17,6	186
11	1,08	17,4	62	11	0,13	15,9	174
12	0,88	6,6	77	12	1,19	12,3	138
13	0,44	8	72	13	0,05	15,1	72
14	0,3	8,9	90	14	0,33	10,4	194
15	1,14	18,7	129	15	0,41	12,7	96
16	0,31	18,6	108	16	0,02	11,7	125
17	0,69	17	66	17	0,37	15,7	171
18	0,54	11,9	197	18	0,28	12,2	153
19	0,46	15,3	51	19	0,58	11,7	121
20	1,22	15,3	96	20	0,17	9,4	58
21	0,24	10,2	123	21	0,11	5	170
22	0,43	15,7	93	22	0,59	6,6	99
23	0,22	16,6	56	23	0,1	9,1	59
24	0,41	17,9	174	24	0,59	11,2	83
25	1,02	16,9	72	25	0,26	11	55
26	0,74	8	130	26	0,22	7,1	160
27	1,18	19,7	143	27	1,17	5,2	108
28	0,75	11,7	75	28	0,71	16	154
29	0,99	11,4	82	29	1,03	9,2	72
30	0,76	15,6	73	30	0,15	5,8	71
31	0,44	11,5	74	31	0,14	16,3	78
32	0,95	11,6	177	32	1,19	17,6	199
33	0,86	5,6	168	33	0,1	9	84
34	0,04	13,1	199	34	0,81	14,6	117
35	0,39	7,4	74	35	0,59	12,3	66
36	0,04	20	174	36	0,36	5,5	100
37	0,27	10,7	71	37	0,46	15,7	67
38	0,38	12,4	147	38	0,55	8,4	100
39	1,33	8,1	130	39	1,3	18,2	173
40	0,1	14,7	65	40	1,29	14,8	200