

Sprawozdanie z ćwiczeń laboratoryjnych

z przedmiotu: *Sterowanie Analogowe*

Numer ćwiczenia:	2
Tytuł ćwiczenia:	Badanie jakości i dokładności sterowania
Imię, nazwisko i numer albumu:	Mateusz Kuczerowski 197900 Kewin Kisiel 197866
Data pomiarów:	16.10.2025
Data oddania:	22.10.2025
Ocena:	

Prowadzący: dr inż. Piotr Fiertek

Grupa laboratoryjna: 1A

1 Cel ćwiczenia

W ramach zajęć analizowano odpowiedzi skokowe oraz charakterystyki częstotliwościowe (Bodego) dla różnych wartości wzmocnienia. Pozwoliło to na ocenę, jak zmiana k_c wpływa na parametry odpowiedzi, takie jak przeregulowanie, czas ustalania, pasmo przenoszenia oraz dokładność sterowania (uchyb ustalony).

2 Przebieg ćwiczenia

Podczas ćwiczenia przeprowadzono badanie trzech różnych układów zamkniętych (Układ A, B, D), wskazanych przez prowadzącego. Układy te były sterowane za pomocą sterownika proporcjonalnego (P). Dla każdego z badanych układów zarejestrowano łącznie 9 odpowiedzi skokowych – po trzy dla każdej z trzech różnych wartości wzmocnienia sterownika k_c . W trakcie zajęć wykorzystano stanowisko pomiarowe składające się z zestawu analogowych modeli procesów przemysłowych (ZAMPP), generatora funkcji oraz oscyloskopu dwukanałowego. Zarejestrowane na oscyloskopie przebiegi (dane pomiarowe) zostały następnie wykorzystane do porównania z wynikami symulacji teoretycznych. Opracowanie wyników wymagało również przygotowania wykresów Nyquista oraz linii pierwiastkowych dla badanych układów.

3 Pomiar i analiza wyników

Poniżej przedstawiono zdjęcia z przeprowadzonych pomiarów w trakcie laboratorium.

POMIARY:

UKŁAD : a

I Pomiar odp. składowy na k :

L.p.	n	$\varphi [^\circ]$
1	0,4	0
2	1,3	0
3	2,4	0
4	4,4	

16.10.2025
Jm

II Char. częstot. z wyj. 1→2

dla k_1 m: 2,4

Lp.	$\varphi [Hz]$	$U_{im} [V_{pp}]$	$U_{out} [V_{pp}]$	$\varphi [^\circ]$
1	10	2	2,06	1,8
2	100	2	2,06	1,8
3	200	2	2,12	30,24
4	500	2	3,58	87,9
5	795	2	1,42	-157,4
6	1000	2	0,58	-133,2

dla k_2 m: 1,3

Lp.	$\varphi [Hz]$	$U_{im} [V_{pp}]$	$U_{out} [V_{pp}]$	$\varphi [^\circ]$
1	10	2	2,06	2,16
2	100	2	2,04	22,32
3	200	2	1,96	39,6
4	500	2	2,18	117,5
5	680	2	1,40	-174,5
6	1k	2	0,38	-139,5

(a) Zdjęcie pomiarów 1.

dla k_1 m: 0,1

Lp.	$\varphi [Hz]$	$U_{im} [V_{pp}]$	$U_{out} [V_{pp}]$	$\varphi [^\circ]$
1	10	2	2,06	3,9
2	100	2	1,86	32,8
3	200	2	1,58	59,4
4	250	2	1,46	72,9
5	500	2	1,1	132,3
6	800	2	0,46	-162,4

UKŁAD : b $U_{in} = 2V_{pp}$ $R = 10k\Omega$

I Pomiar odp. składowy na k :

L.p.	n	$\varphi [^\circ]$	$c(t)$ gsk zolokante
1	0,5	0	
2	1,5	0	
3	2,8	0	
4	3,6		

II Char. częstot. z wyj. 1→2

dla k_1 m: 0,5

Lp.	$\varphi [Hz]$	$U_{im} [V_{pp}]$	$U_{out} [V_{pp}]$	$\varphi [^\circ]$
1	10	2	2,06	3,96
2	100	2	2,06	33,8
3	200	2	1,96	62,52
4	400	2	1,62	111,6
5	520	2	1,4	137,3
6	1k	2	0,94	177,8

(b) Zdjęcie pomiarów 2.

dla k_2 m: 1,5

Lp.	$\varphi [Hz]$	$U_{im} [V_{pp}]$	$U_{out} [V_{pp}]$	$\varphi [^\circ]$
1	10	2	2,06	2,16
2	100	2	2,14	18
3	200	2	2,32	39,6
4	400	2	3,06	79,92
5	600	2	3,26	129
6	1,75k	2	1,4	-142,1

dla k_2 m: 2,5

Lp.	$\varphi [Hz]$	$U_{im} [V_{pp}]$	$U_{out} [V_{pp}]$	$\varphi [^\circ]$
1	10	2	2,06	2,16
2	100	2	2,14	12,24
3	200	2	2,34	25,2
4	400	2	3,48	47,48
5	800	2	12,2	131
6	3,5k	2	1,4	-107

UKŁAD : d

I Pomiar odp. składowy na k :

L.p.	k_p	$\varphi [^\circ]$	$c(t)$ gsk zolokante
1	1,1		
2	4		
3	8		
4	10		

α_{gromy}

(c) Zdjęcie pomiarów 3.

dla k_1 m: 1,1

Lp.	$\varphi [Hz]$	$U_{im} [V_{pp}]$	$U_{out} [V_{pp}]$	$\varphi [^\circ]$
1	10	2	0,44	-6,82
2	200	2	0,42	6,84
3	400	2	0,4	12,96
4	800	2	0,34	33,12
5	1,5k	2	0,26	48,9
6	2k	2	0,162	68,12

dla k_2 m: 1

Lp.	$\varphi [Hz]$	$U_{im} [V_{pp}]$	$U_{out} [V_{pp}]$	$\varphi [^\circ]$
1	10	2	0,78	-3,6
2	200	2	0,74	10,08
3	400	2	0,72	16,63
4	800	2	0,68	30,47
5	1,5k	2	0,5	52,81
6	2k	2	0,42	62,04

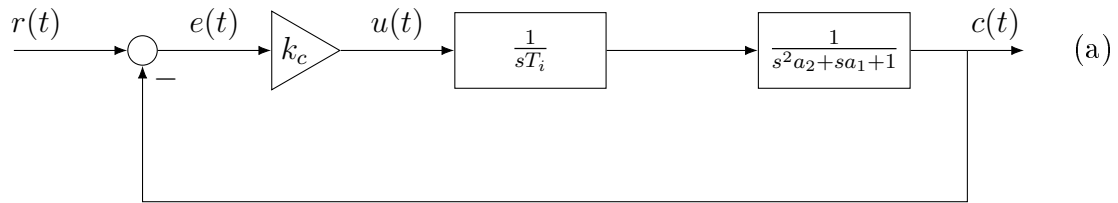
dla k_3 m: 8

Lp.	$\varphi [Hz]$	$U_{im} [V_{pp}]$	$U_{out} [V_{pp}]$	$\varphi [^\circ]$
1	10	2	1,08	-2,16
2	200	2	1,04	6,48
3	400	2	1,04	10,8
4	800	2	0,96	25,48
5	1,5k	2	0,8	43,94
6	2k	2	0,68	56,44

(d) Zdjęcie pomiarów 4.

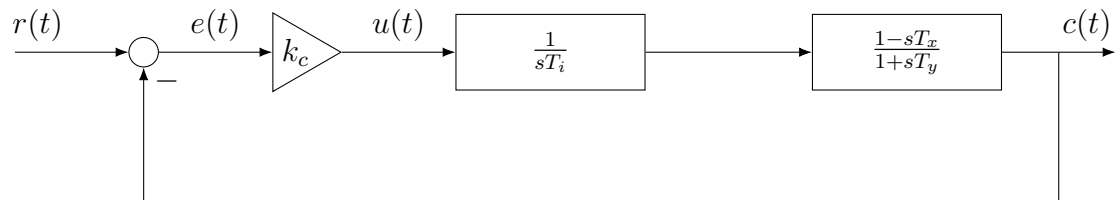
4 Układy pomiarowe

Układ A):



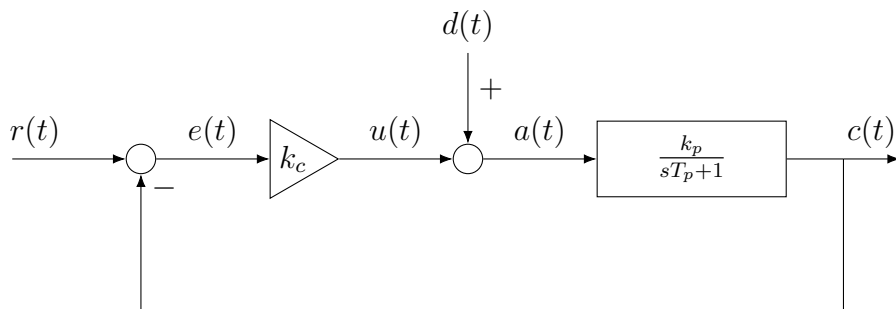
Rysunek 2: Schemat układu pomiarowego (a).

Układ B):



Rysunek 3: Schemat układu pomiarowego (b).

Układ D):



Rysunek 4: Schemat blokowy układu regulacji z zakłóceniem.

4.1 Układ A

Pierwszy badany układ składa się ze sterownika proporcjonalnego (P) oraz obiektu sterowanego w pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego. Obiekt sterowany jest szeregowym połączeniem członu całkującego i członu inercyjnego drugiego rzędu.

Na podstawie identyfikacji przeprowadzonej w ćwiczeniu 1, przyjęto następujące parametry modeli:

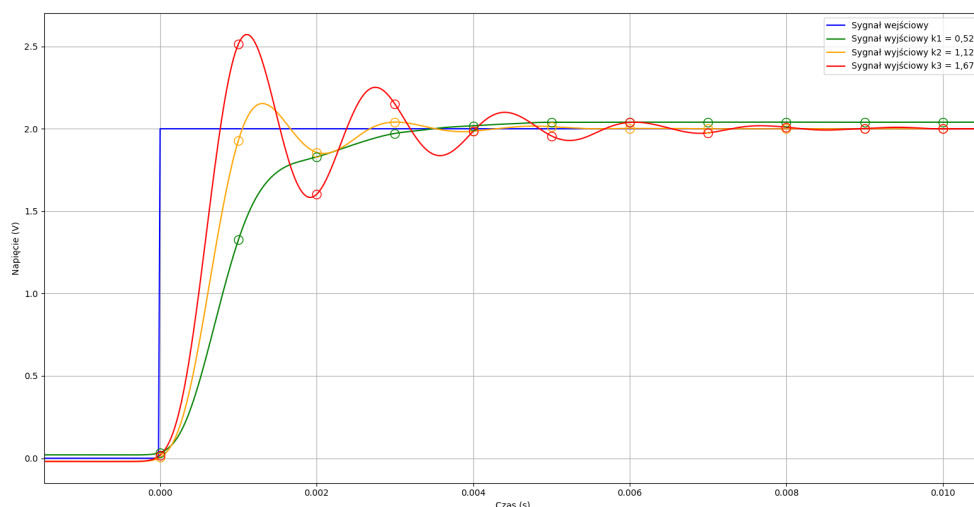
- Człon całkujący: $G(s) = \frac{1}{sT_i}$, gdzie $T_i = 1,33$ ms.
- Człon 2 rzędu: $G(s) = \frac{1}{1+sa_1+s^2a_2} = \frac{1}{1+s2\zeta\tau+s^2\tau^2} = \frac{w_n^2}{w_n^2+s2\zeta w_n+s^2}$, gdzie wyznaczone parametry to $\zeta = 0,37$ i $\omega_n = 2330$ rad/s.

Badania przeprowadzono dla trzech różnych wartości wzmocnienia k_c , obliczonych ze wzoru $k_c = 0,47 + n/2$:

- Dla $n_1 = 0,1$: $k_{c1} = 0,47 + 0,1/2 = 0,47 + 0,05 = \mathbf{0,52}$
- Dla $n_2 = 1,3$: $k_{c2} = 0,47 + 1,3/2 = 0,47 + 0,65 = \mathbf{1,12}$
- Dla $n_3 = 2,4$: $k_{c3} = 0,47 + 2,4/2 = 0,47 + 1,20 = \mathbf{1,67}$

4.1.1 Odpowiedzi skokowe

Na poniższym wykresie przedstawiono zarejestrowane odpowiedzi skokowe układu (A) dla trzech wyznaczonych wzmocnień k_c .



Rysunek 5: Odpowiedź skokowa układu (A) przy różnych wartościach wzmocnienia k_c .

4.1.2 Linie pierwiastkowe

Wykres linii pierwiastkowych dla układu otwartego $G_o(s) = k_c \cdot \frac{1}{sT_i} \cdot \frac{w_n^2}{w_n^2 + s2\zeta w_n + s^2}$ przedstawiono poniżej. Zaznaczono na nim położenie biegunów układu zamkniętego dla badanych wzmocnień k_{c1} , k_{c2} i k_{c3} .

Rysunek 6: Linie pierwiastkowe układu otwartego (A).

4.1.3 Charakterystyki Bodego

Poniższy wykres przedstawia charakterystyki Bodego układu zamkniętego dla badanych wartości k_c .

Rysunek 7: Charakterystyki Bodego układu zamkniętego (A).

4.1.4 Charakterystyki Nyquista

Na wykresie Nyquista układu otwartego można zbadać stabilność układu zamkniętego.

Rysunek 8: Charakterystyka Nyquista układu otwartego (A).

4.2 Układ B

Drugi badany układ składa się ze sterownika proporcjonalnego (P) oraz obiektu będącego szeregowym połączeniem członu całkującego i członu nieminimalnofazowego.

Na podstawie identyfikacji przeprowadzonej w ćwiczeniu 1, przyjęto następujące parametry modeli:

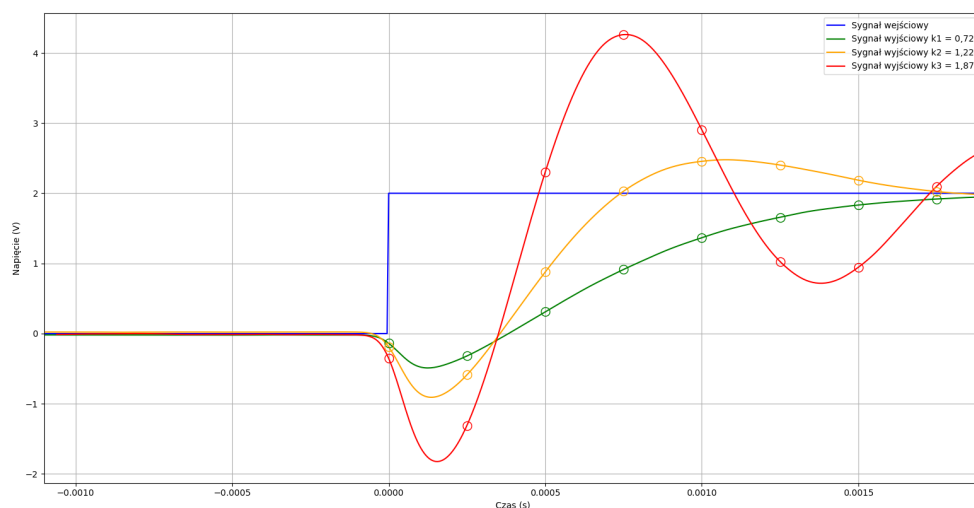
- Człon całkujący: $G(s) = \frac{1}{sT_i}$, gdzie $T_i = 1,33$ ms.
- Człon nieminimalnofazowy: $G(s) = \frac{1-sT_x}{1+sT_y}$, gdzie: $T_x = 0,396$ ms i $T_y = 0,113$ ms.

Badania przeprowadzono dla trzech wartości wzmocnienia k_c , obliczonych ze wzoru $k_c = 0,47 + n/2$:

- Dla $n_1 = 0,5$: $k_{c1} = 0,47 + 0,5/2 = 0,47 + 0,25 = \mathbf{0,72}$
- Dla $n_2 = 1,5$: $k_{c2} = 0,47 + 1,5/2 = 0,47 + 0,75 = \mathbf{1,22}$
- Dla $n_3 = 2,8$: $k_{c3} = 0,47 + 2,8/2 = 0,47 + 1,40 = \mathbf{1,87}$

4.2.1 Odpowiedzi skokowe

Na poniższym wykresie przedstawiono zarejestrowane odpowiedzi skokowe układu (B) dla trzech wyznaczonych wzmocnień k_c .



Rysunek 9: Odpowiedź skokowa układu (B) przy różnych wartościach wzmocnienia k_c .

4.2.2 Linie pierwiastkowe

Wykres linii pierwiastkowych dla układu otwartego $G_o(s) = k_c \cdot \frac{1}{sT_i} \cdot \frac{1-sT_x}{1+sT_y}$ przedstawiono poniżej. Zaznaczono na nim położenie biegunów układu zamkniętego dla badanych wzmocnień k_{c1} , k_{c2} i k_{c3} .

Rysunek 10: Linie pierwiastkowe układu otwartego (B).

4.2.3 Charakterystyki Bodego

Rysunek 11: Charakterystyki Bodego układu zamkniętego (B).

4.2.4 Charakterystyki Nyquista

Rysunek 12: Charakterystyka Nyquista układu otwartego (B).

4.3 Układ D

Ostatni badany układ to układ regulacji z zakłóceniem, składający się ze sterownika proporcjonalnego (P) i obiektu inercyjnego pierwszego rzędu.

Na podstawie identyfikacji przeprowadzonej w ćwiczeniu 1, przyjęto następujące parametry modeli:

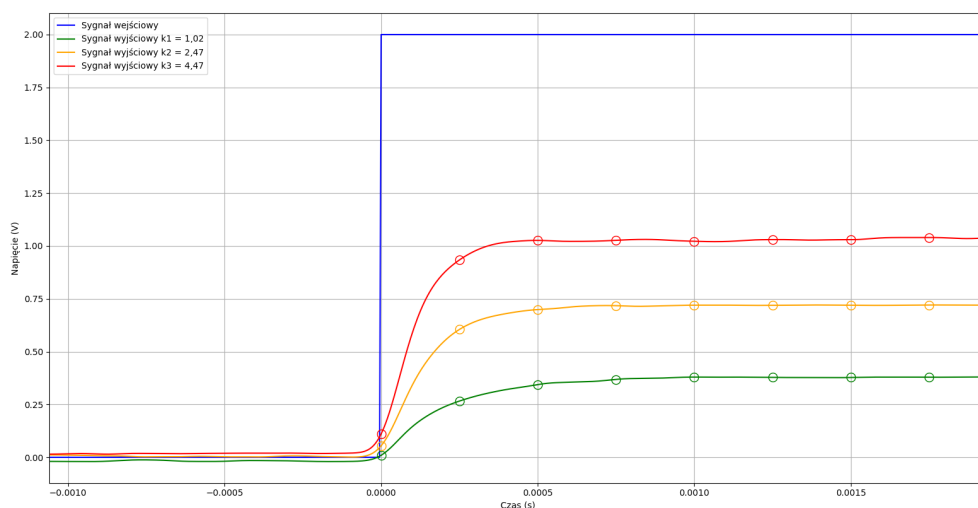
- Człon inercyjny 1 rzędu: $G(s) = \frac{k_p}{1+sT_p}$, gdzie $k_p = 0,871$ i $T_p = 0,78$ ms.

Badania przeprowadzono dla trzech wartości wzmocnienia k_c , obliczonych ze wzoru $k_c = 0,47 + n/2$:

- Dla $n_1 = 1,1$: $k_{c1} = 0,47 + 1,1/2 = 0,47 + 0,55 = \mathbf{1,02}$
- Dla $n_2 = 4,0$: $k_{c2} = 0,47 + 4,0/2 = 0,47 + 2,00 = \mathbf{2,47}$
- Dla $n_3 = 8,0$: $k_{c3} = 0,47 + 8,0/2 = 0,47 + 4,00 = \mathbf{4,47}$

4.3.1 Odpowiedzi skokowe

Na poniższym wykresie przedstawiono zarejestrowane odpowiedzi skokowe układu (D) dla trzech wyznaczonych wzmocnień k_c .



Rysunek 13: Odpowiedź skokowa układu (D) przy różnych wartościach wzmocnienia k_c .

4.3.2 Linie pierwiastkowe

Rysunek 14: Linie pierwiastkowe układu otwartego (D).

4.3.3 Charakterystyki Bodego

Rysunek 15: Charakterystyki Bodego układu zamkniętego (D).

4.3.4 Charakterystyki Nyquista

Rysunek 16: Charakterystyka Nyquista układu otwartego (D).

5 Wnioski

Tutaj wnioski