

STRESZCZENIE

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

Słowa kluczowe: Curabitur pretium tincidunt lacus. Nulla gravida orci a odio. Nullam varius, turpis et commodo pharetra, est eros bibendum elit, nec luctus magna felis sollicitudin mauris. Integer in mauris eu nibh euismod gravida. Duis ac tellus et risus vulputate vehicula. Donec lobortis risus a elit. Etiam tempor. Ut ullamcorper, ligula eu tempor congue, eros est euismod turpis, id tincidunt sapien risus a quam. Maecenas fermentum consequat mi. Donec fermentum.

Dziedzina nauki i techniki, zgodnie z wymogami OECD: Nauki inżynieryjne i techniczne, elektrotechnika, elektronika, inżynieria informatyczna, robotyka i automatyka.

ABSTRACT

In this thesis a problem of state-space control of inverted pendulum was considered. For this purpose, equations describing behaviour of the plant were derived using laws of physics. Also an experimental approach was made - a frequency response method - to obtain the model parameters. As the real control plant, a Bytronic pendulum module was used. An electronic circuit with microcontroller, for controlling the motor, measuring the cart's position and pendulum's angle, was designed and made. The control system was designed as a linear-quadratic regulator, implementing state feedback. A state observer was designed and implemented in order to obtain values of all plant's states. Effects of the design methods were successfully verified on the real inverted pendulum module.

Keywords: inverted pendulum, state-space control, LQR regulator.

SPIS TREŚCI

Wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów	6
1. Wstęp i cel pracy	7
2. Lorem ipsum	8
2.1. Lorem ipsum	8
3. Obiekt regulacji	10
3.1. Wahadło firmy Bytronic	10
4. Badanie właściwości układu	11
4.1. Przewidywana transmitancja	11
5. Regulacja w przestrzeni stanu	12
5.1. Sterowalność	12
6. Badanie układu sterowania	13
7. Podsumowanie	14
Spis rysunków	15
Spis tabel	16
Bibliografia	17
8. Dodatek A – Schemat elektryczny układu	18

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ I SKRÓTÓW

<i>LQR</i>	–	ang. linear-quadratic regulator – regulator liniowo-kwadratowy,
<i>det</i>	–	wyznacznik macierzy,
<i>PWM</i>	–	ang. Pulse-Width Modulation – modulacja szerokością impulsu,
<i>g</i>	–	przyspieszenie ziemskie $9,81 \frac{m}{s^2}$,
<i>RC</i>	–	układ rezystor-kondensator,
<i>ADC</i>	–	przetwornik analogowo-cyfrowy.
<i>DA</i>	–	cyfrowo-analogowy.

1. WSTĘP I CEL PRACY

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

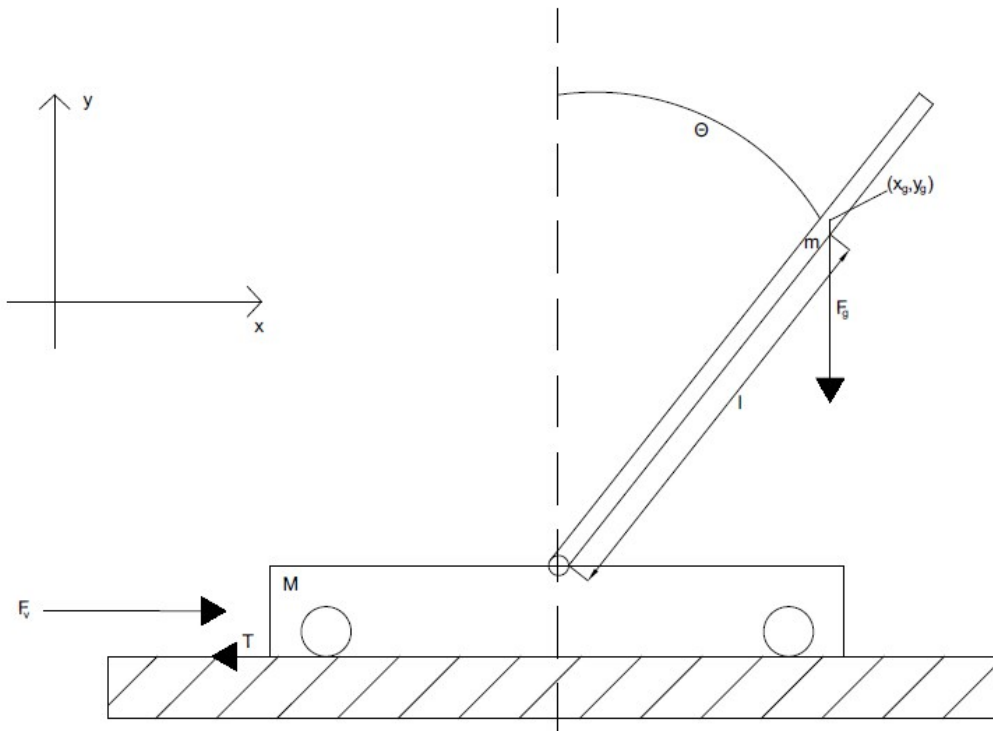
1. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.
2. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.
3. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

2. LOREM IPSUM

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

2.1. Lorem ipsum

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.



Rysunek 2.1: Model wahadła odwróconego.

$$\frac{\theta(s)}{F_v(s)} = \frac{-m l s}{(M I + m I + M m l^2) s^3 + (\mu I + m l^2 \mu) s^2 + (-M m g l - m^2 g l) s - \mu m g l}. \quad (2.1)$$

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit

esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

3. OBIEKT REGULACJI

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

3.1. *Wahadło firmy Bytronic*

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

4. BADANIE WŁAŚCIWOŚCI UKŁADU

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

4.1. Przewidywana transmitancja

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

Tabela 4.1: Porównanie położenia biegunów modelu teoretycznego i zidentyfikowanego.

Biegun	Model teoretyczny	Model zidentyfikowany
λ_0	0	0
λ_1	5,940	5,785
λ_2	-6,648	-7,076
λ_3	-1,131	-1,872

5. REGULACJA W PRZESTRZENI STANU

5.1. Sterowalność

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

6. BADANIE UKŁADU STEROWANIA

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

7. PODSUMOWANIE

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

SPIS RYSUNKÓW

2.1 Model wahadła odwróconego.	8
--	---

SPIS TABEL

4.1 Porównanie położenia biegunów modelu teoretycznego i zidentyfikowanego. . . .	11
---	----

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ryan Lee Robles, Yuri A.W. Shardt, *Linear Motion Inverted Pendulum*, Laboratory of manual.
- [2] Control Tutorials for Matlab and Simulink, <http://ctms.engin.umich.edu> (data dostępu 15.10.2018 r.).
- [3] Władysław Findeisen, Henryk Leśkiewicz, Stefan Węgrzyn, *Encyklopedia Techniki. Tom Automatyka*, str. 162, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne Warszawa, 1972.
- [4] LM78XX/LM78XXA 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator, <http://hades.mech.northwestern.edu> (data dostępu 12.10.2018 r.).
- [5] Torsten Söderström, *Identyfikacja Procesów*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 1997.
- [6] Tadeusz Kaczorek, *Teoria Sterowania Tom 1*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1977.
- [7] Tadeusz Kaczorek, *Teoria Sterowania Tom 2*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1981.
- [8] William L. Brogan, *Modern Control Theory*, trzecia edycja, Pearson, 1990.
- [9] Adam Owczarkowski, Jarosław Gośliński, *Stabilizacja Wahadła Odwróconego z Napędem Inercyjnym*, Politechnika Poznańska, Wydział Elektryczny, 2012.
- [10] Andrzej Leśnicki, *Technika Cyfrowego Przetwarzania Sygnałów*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 2016.

8. DODATEK A – SCHEMAT ELEKTRYCZNY UKŁADU

