





AGH

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

**WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI,
INFORMATYKI I INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ**

KATEDRA AUTOMATYKI I INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ

Praca dyplomowa magisterska

*Dobór algorytmów regulacji oraz samostrojenia dla sterownika PLC
współpracującego z nieliniowym obiektem mechatronicznym* 
Synthesis of control and self tuning algorithms for a PLC controlling a 
nonlinear mechatronic ball and beam plant

Autor:

inż. Piotr Banaszkiewicz

Kierunek studiów:

Automatyka i Robotyka

Opiekun pracy:

dr inż. Andrzej Tutaj

Kraków, 2017

Uprzedzony o odpowiedzialności karnej na podstawie art. 115 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (t.j. Dz.U. z 2006 r. Nr 90, poz. 631 z późn. zm.): „Kto przywłaszcza sobie autorstwo albo wprowadza w błąd co do autorstwa całości lub części cudzego utworu albo artystycznego wykonania, podlega grzywnie, karze ograniczenia wolności albo pozbawienia wolności do lat 3. Tej samej karze podlega, kto rozpowszechnia bez podania nazwiska lub pseudonimu twórcy cudzy utwór w wersji oryginalnej albo w postaci opracowania, artystycznego wykonania albo publicznie zniekształca taki utwór, artystyczne wykonanie, fonogram, wideogram lub nadanie.”, a także uprzedzony o odpowiedzialności dyscyplinarnej na podstawie art. 211 ust. 1 ustawy z dnia 27 lipca 2005 r. Prawo o szkolnictwie wyższym (t.j. Dz. U. z 2012 r. poz. 572, z późn. zm.): „Za naruszenie przepisów obowiązujących w uczelni oraz za czyny uchybiające godności studenta student ponosi odpowiedzialność dyscyplinarną przed komisją dyscyplinarną albo przed sądem koleżeńskim samorządu studenckiego, zwanym dalej «sądem koleżeńskim».”, oświadczam, że niniejszą pracę dyplomową wykonałem(-am) osobiście i samodzielnie i że nie korzystałem(-am) ze źródeł innych niż wymienione w pracy.

Serdecznie dziękuję opiekunowi pracy, Panu Doktorowi Andrzejowi Tutajowi, za niesioną pomoc i zawsze dobrą radę.

Spis treści

1. Wstęp	7
2. Obiekt regulacji	9
2.1. Obiekty typu kulka na belce	9
2.2. Projekt mechaniczny	10
2.3. Konstrukcja mechaniczna	11
2.4. Przeniesienie napędu	11
2.5. Belka	12
2.6. Kulka	13
2.7. Podsumowanie	13
3. Układ sterowania i instrumentacji	15
3.1. PLC	15
3.2. Układ napędowy	15
3.3. Czujniki odległości	15
3.4. Czujnik bazowania	15
4. Model matematyczny	17
5. Identyfikacja	19
6. Model symulacyjny	21
7. Algorytmy sterowania	23
8. Algorytmy samostrojenia	25
9. Symulacje i eksperymenty	27
10. Wnioski	29





1. Wstęp

Lorem ipsum.



2. Obiekt regulacji

Obiektem poddawany regulacji był system typu kulka na belce, który został zbudowany od podstaw na potrzeby tej pracy.

2.1. Obiekty typu kulka na belce

Na system tego typu składają się długa, umieszczona horyzontalnie belka, silnik lub serwomechanizm, który umożliwia wychylanie się belki. Po belce swobodnie porusza się kulka.

Podstawowym zadaniem regulacji w systemie tego typu jest stabilizacja położenia kulki w wybranym punkcie. Charakterystyczną cechą tego systemu jest prostota konstrukcji oraz niestabilność przy braku aktywnej regulacji.

Obiekty tego typu są często wykorzystywane w dydaktyce teorii sterowania. Składają się na to poniższe powody:

- prostota budowy,
- możliwość zastosowania różnych czujników położenia kulki,
- możliwość zastosowania różnych silników i mechanizmów przeniesienia napędu.

Uproszczony schemat systemu kulka i belka przedstawiony został poniżej:

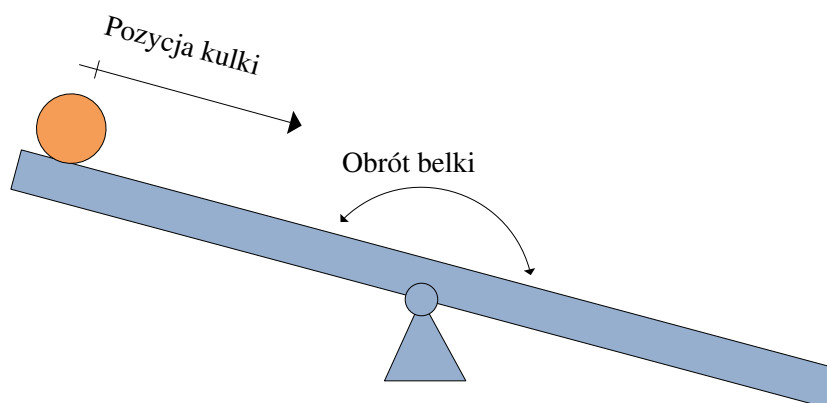


Fig. 2.1. Uproszczony schemat systemu typu kulka i belka.


Prostota konstrukcji i inherentna niestabilność sprawiły, że powstało wiele implementacji tego systemu (np. [1][2][3]), również komercyjne, jak na przykład produkt firmy Quanser .



Fig. 2.2. Zdjęcie produktu *Ball and Beam* firmy Quanser.[4]



2.2. Projekt mechaniczny

Przed przystąpieniem do budowy obiektu, zaprojektowano wstępny kształt w programie CAD SketchUp Make (fig. 2.3). Wyszczególniono na nim:

- prostokątną podstawę,
- słupy podtrzymujące belkę,
- usztywniający łącznik między słupami,
- oś obrotu (wał) umieszczony w połowie długości belki,
- przekrój belki.

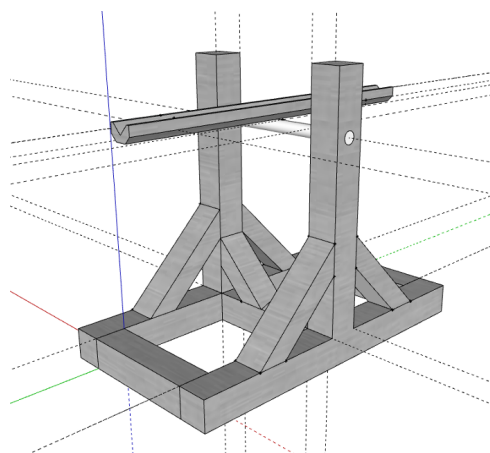


Fig. 2.3. Render projektu CAD.

Ostateczna konstrukcja różni się względem projektu CAD o wysokość słupów, i umiejscowienie łącznika między nimi. Dodatkowo zastosowano sztywne połączenie osi obrotu belki i samej belki wykorzystujące podpory wału.

2.3. Konstrukcja mechaniczna

Większość konstrukcji powstała z ocynkowanych elementów stalowych, tzw. „ceowników” w przekroju kwadratowym o boku długości 4 cm, pozwalających na łatwe skrośnięcie kilku elementów ze sobą. Rozwiązanie to jest bardzo tanie w porównaniu do przemysłowych profili aluminiowych lub spawanych profili stalowych, ale jednocześnie jest dość ciężkie i poprzez niedomknięcie profilu podatne na pewne momenty gnące.

Kąty proste pomiędzy elementami ustawionymi prostopadle zostały zapewnione poprzez skrośnięcie za pomocą wsporników stalowych.

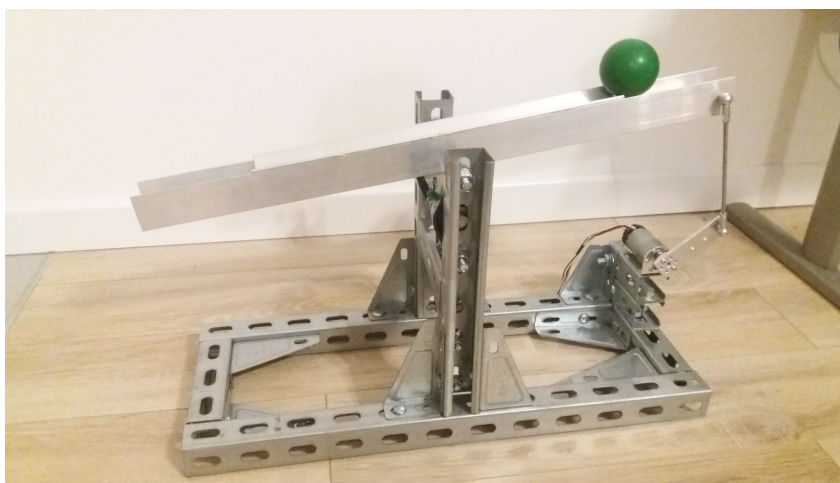


Fig. 2.4. Zdjęcie obiektu regulacji w trakcie budowy.

Na prostokątnej podstawie o wymiarach zewnętrznych 60 cm × 23 cm wykonanej z ceowników ustawiono pionowo na środkach dłuższych boków słupy nośne, również wykonane z ceowników. Na słupach przyczepiono współosiowo łożyska maszynowe samonastawne typu UCFL 201 w obudowach odlewanych.

Słupy zostały usztywnione poprzez połączenie ich przęsłem podniesionym o 11 cm względem podstawy.

Przez łożyska poprowadzono pręt nierdzewny stalowy o średnicy 12 mm; na pręt nałożono podpory wałka w kształcie litery T, a do nich przykręcono belkę.

Silnik elektryczny, przymocowany do aluminiowego uchwytu, został umieszczony podłużnie na krótszym boku podstawy, na podwyższeniu wykonanym z dwóch elementów stalowych typu ceownik.

2.4. Przeniesienie napędu

W obiekcie zastosowano przeniesienie napędu wykorzystujące mechanizm korbowy. Rozwiązanie to posiada kilka zalet:

- gwarantuje bezpieczeństwo mechanizmu – błąd algorytmiczny (np. przypadkowe podanie maksymalnego sterowania) nie spowoduje uszkodzenia fizycznego żadnej części obiektu,
- poprzez oddalenie punktu zaczepu korbowodu od osi obrotu belki zmniejsza wymagania dotyczące mocy silnika, a tym samym jego cenę,
- pozwala regulować zakres wychyleń belki w wyniku zmiany długości korby.

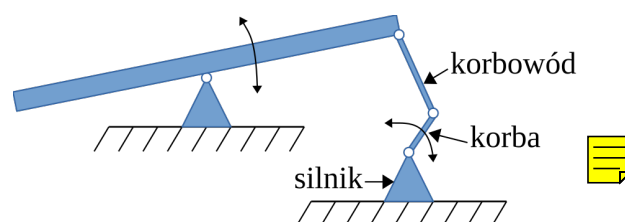


Fig. 2.5. Schemat napędu opartego o mechanizm korbowy.

Parametry fizyczne mechanizmu korbowego:

- długość korby: 3 cm,
- długość korbowodu: 15 cm,
- zastosowane przeguby kulowe między korbą i korbowodem oraz korbowodem i belką.



2.5. Belka

Belka została stworzona poprzez trwałe sklejenie krawędzi kątownika aluminiowego o długości 40 cm i boku 3 cm oraz krawędzi ceownika aluminiowego o długości 65 cm i boku 4 cm. W przekroju przypomina to kształtem literę M domkniętą od spodu (fig. 2.6).

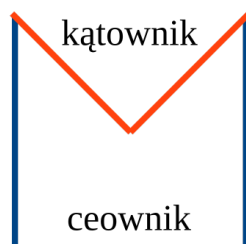


Fig. 2.6. Schemat przekroju belki z zaznaczonymi ceownikiem aluminiowym i kątownikiem aluminiowym.



Krótszy kątownik został umieszczony wzdłużnie na środku belki. W odległości około 1 cm od jego końców zamontowano uchwyty na czujniki optyczne.



Uchwyty pozwalają na zmianę wysokości czujnika względem płaszczyzny belki, a także na pochylenie go w osi prostopadłej do płaszczyzny belki.

2.6. Kulka

Do projektu dobrano lekką kulkę o masie 20 g wykonaną z miękkiej gąbki; średnica kulki wynosi 6 cm.



Fig. 2.7. Zdjęcie kulki.

2.7. Podsumowanie

W niniejszym rozdziale opisano obiekt regulacji, cel regulacji oraz przedstawiono podobne konstrukcje, w tym jedno rozwiązanie komercyjne. Następnie opisano dokładnie budowę obiektu regulacji, poczynając od konstrukcji podstawy, poprzez umocowanie osi obrotu belki, umieszczenie silnika, przeniesienie napędu, a na budowie belki i doborze kulki kończąc.

3. Układ sterowania i instrumentacji

Lorem ipsum.

3.1. PLC

3.2. Układ napędowy

3.3. Czujniki odległości

3.4. Czujnik bazowania

4. Model matematyczny

Lorem ipsum.

5. Identyfikacja

Lorem ipsum.

6. Model symulacyjny

Lorem ipsum.

7. Algorytmy sterowania

Lorem ipsum.

8. Algorytmy samostrojenja

Lorem ipsum.

9. Symulacje i eksperymenty

Lorem ipsum.

10. Wnioski

Lorem ipsum.

Bibliografia

- [1] Wei Wang. *Control of a Ball and Beam System*. June 5, 2007. URL: http://data.mecheng.adelaide.edu.au/robotics/projects/2007/BallBeam/Wei_Final_Thesis.pdf.
- [2] Marta Virseda. *Modeling and Control of the Ball and Beam Process*. Mar. 2004. URL: <http://www.control.lth.se/documents/2004/5736.pdf>.
- [3] Krzysztof Nowopolski. "Implementation of ball-and-beam control system as an instance of simulink to 32-bit microcontroller interface". In: *Poznan University of Technology Academic Journals* (2013).
- [4] Quanser. *Ball and Beam*. URL: http://www.quanser.com/Products/ball_beam.

Spis rysunków

2.1	Uproszczony schemat systemu typu kulka i belka.	9
2.2	Zdjęcie produktu <i>Ball and Beam</i> firmy Quanser.[4]	10
2.3	Render projektu CAD.	10
2.4	Zdjęcie obiektu regulacji w trakcie budowy.	11
2.5	Schemat napędu opartego o mechanizm korbowy.	12
2.6	Schemat przekroju belki z zaznaczonymi ceownikiem aluminiowym i kątownikiem aluminiowym.	12
2.7	Zdjęcie kulki.	13

Spis tablic