

Institutionen för systemteknik

Department of Electrical Engineering

Examensarbete

Investigation of Control Approaches for a Rotational Piezo-based Actuator for Accurate Positioning Application Operations at CERN

Examensarbete utfört i Mekatronik
vid Tekniska högskolan vid Linköpings universitet
av

Niklas Ericson

LiTH-ISY-EX--YY/NNNN--SE

Linköping 2016



Linköpings universitet
TEKNISKA HÖGSKOLAN

Investigation of Control Approaches for a Rotational Piezo-based Actuator for Accurate Positioning Application Operations at CERN

Examensarbete utfört i Mekatronik
vid Tekniska högskolan vid Linköpings universitet
av


Niklas Ericson

LiTH-ISY-EX--YY/NNNN--SE

Handledare: **Doktorand Si**
 ISY, Linköpings universitet
Mark Butcher
 CERN, Geneva, Switzerland

Examinator: **Proffesor Svante Gunnarsson**
 ISY, Linköpings universitet

Linköping, 9 april 2016

		Avdelning, Institution Division, Department Institutionen för Systemteknik Department of Electrical Engineering SE-581 83 Linköping		Datum Date 2016-04-09	
Språk Language <input type="checkbox"/> Svenska/Swedish <input checked="" type="checkbox"/> Engelska/English <input type="checkbox"/> _____		Rapporttyp Report category <input type="checkbox"/> Licentiatavhandling <input checked="" type="checkbox"/> Examensarbete <input type="checkbox"/> C-uppsats <input type="checkbox"/> D-uppsats <input type="checkbox"/> Övrig rapport <input type="checkbox"/> _____		ISBN _____ ISRN LiTH-ISY-EX--YY/NNNN--SE Serietitel och serienummer ISSN Title of series, numbering _____	
URL för elektronisk version http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:liu:diva-XXXXX					
Titel Title		Undersökning av ett problem Investigation of Control Approaches for a Rotational Piezo-based Actuator for Accurate Positioning Application Operations at CERN			
Författare Author		Niklas Ericson			
Sammanfattning Abstract <p>Det här som vi har hållit på med är jätteviktigt faktiskt och det vi gjort blev bara sååå bra. Kanske inte helt otippat, men det glass är sååå gott!</p> <p>Förresten har vi blivit bäst på att skriva rapporter, så nu ska ska vi inte gå in närmare på några detaljer såhär i sammanfattningen.</p>					
Nyckelord Keywords problem, lösning					

Sammanfattning

Det här som vi har hållit på med är jätteviktigt faktiskt och det vi gjort blev bara sååå bra. Kanske inte helt otippat, men det glass är sååå gott!

Förresten har vi blivit bäst på att skriva rapporter, så nu ska ska vi inte gå in närmare på några detaljer såhär i sammanfattningen.

Abstract

If your thesis is written in English, the primary abstract would go here while the Swedish abstract would be optional.

Contents

Notation	ix
1 Introduction	1
1.1 Background	1
1.2 Purpose and Goal	1
1.3 Related work	2
1.4 Outline	2
2 Method	3
2.1 Literature review	3
2.2 Timeplan	3
3 Result	5
4 Conclusions	7
A definitions	11
Bibliography	13
Index	14

Notation

NÅGRA MÄNGDER

Notation	Betydelse
\mathbb{N}	Mängden av naturliga tal
\mathbb{R}	Mängden av reella tal
\mathbb{C}	Mängden av komplexa tal

FÖRKORTNINGAR

Förkortning	Betydelse
CERN	European Organization for Nuclear Research
STM	Scanning Tunneling Microscope
AFM	Atomic Force Microscope
LHC	Large Hadron Collider
PEA	Piezoelectric actuator
PID	Proportional, integral, differential (regulator)

1

Introduction

1.1 Background

High precision positioning systems are vital in e.g. scanning tunneling microscopes (STM), atomic force microscopes (AFM) and in semiconductor lithography. In AFM, for instance, high precision positioning is needed to control the position of a scanning probe with atomic-scale resolution. In the UA9 Experiment located at CERN (European Organization for Nuclear Research) a high precision positioning system is required for the control of a piezo-actuated rotational stage.

Smart materials such as piezoelectric and magnetostrictive materials are commonly used in precision actuators today due to their ability to convert electrical energy into mechanical energy. In cases where a relatively small displacement range is required (travel ranges up to $500\text{ }\mu\text{m}$) a piezo electric device is the actuator of choice due to its fast response, high resolution and its ability to generate large mechanical forces for small amounts of power in compact designs [5]. The rotational stage at CERN uses a piezo electric linear stack actuator to displace a flexible lever arm mechanism which generates the rotational movement. The piezo-actuator stage together with its amplifying structure gives the device an rotational range of 20 mrad .

1.2 Purpose and Goal

Crystalline solids have the ability to constrain the directions that particles take as they pass through, this is commonly called the "channelling" property. The UA9 collaboration at CERN is investigating how tiny bent crystals can help to steer particle beams in modern hadron colliders such as the Large Hadron Collider (LHC) [4]. In circular colliders, such as the LHC, particles tends to drift outwards creating a beam halo that may cause harm to the system. By using bent crystals, halo

particles can be efficiently extracted from the beam and collected by absorbers. One major difficulty that arises is that the higher the energy of the particle, the lower the angular acceptance for channeling. Hence, a high precision positioning mechanism with a high angular accuracy is required. The rotational stage at CERN is of necessity to be able to track reference trajectories at ramp rates of $100 \mu\text{rad/s}$ and reject external disturbances to maintain a maximum tracking error of $\pm 1 \mu\text{rad}$.

This project aims to identify the possible control approaches that could be applicable to this problem to achieve the desired performance.

1.3 Related work

1.4 Outline

en preliminär problemformulering satt i relation till litteraturbasen

2

Method

en preliminär beskrivning av angreppssätt

2.1 Literature review

planerad litteraturbas

[3]

[2]

[1]

[6]

2.2 Timeplan

en tidplan för examensarbetets genomförande inklusive planerade datum för halvtidskontroll och framläggning

3

Result

preliminära resultat som kan demonstreras vid halvtidskontroll

4

Conclusions

Sätt av ett kort kapitel sist i rapporten till att avrunda och föreslå rikningar för framtida utveckling av arbetet.

Appendix

A

definitions

Bibliography

- [1] Giustiniani A. Masi A. Biggio M., Butcher M. and Storace M. Memory characteristics of hysteresis and creep in multi-layer piezoelectric actuators: An experimental analysis. *Physica B: Condensed Matter*, 435:40–43, 2014. Cited on page 3.
- [2] Giustiniani A. Butcher M. and Masi A. On the identification of hammerstein systems in the presence of an input hysteretic nonlinearity with nonlocal memory: Piezoelectric actuators – an experimental case study. *Physica B: Condensed Matter*, pages 1—5, 2015. Cited on page 3.
- [3] Losito R. Butcher M., Giustiniani A. and Masi A. Controller design and verification for a rotational piezo-based actuator for accurate positioning applications in noisy environments. *Iecon 2015*, 2015. Cited on page 3.
- [4] CERN. The ua9 experiment is investigating how crystals could help to steer particle beams in high-energy colliders, Retrieved in January 2016. URL <http://home.cern/about/experiments/ua9>. Cited on page 1.
- [5] Eleftheriou E. Devasia S. and Moheimani R. A survey of control issues in nanopositioning. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 15(5): 802—823, 2007. Cited on page 1.
- [6] Fleming A. J. and Leang K. K. *Design, Modeling and Control of Nanopositioning Systems*. Springer International Publishing, first edition, 2014. Cited on page 3.

Index

AFM
 abbreviation, ix

CERN
 abbreviation, ix

LHC
 abbreviation, ix

PEA
 abbreviation, ix

PID
 abbreviation, ix

STM
 abbreviation, ix

Upphovsrätt

Detta dokument hålls tillgängligt på Internet — eller dess framtida ersättare — under 25 år från publiceringsdatum under förutsättning att inga extraordinära omständigheter uppstår.

Tillgång till dokumentet innebär tillstånd för var och en att läsa, ladda ner, skriva ut enstaka kopior för enskilt bruk och att använda det oförändrat för icke-kommersiell forskning och för undervisning. Överföring av upphovsrätten vid en senare tidpunkt kan inte upphäva detta tillstånd. All annan användning av dokumentet kräver upphovsmannens medgivande. För att garantera äktheten, säkerheten och tillgängligheten finns det lösningar av teknisk och administrativ art.

Upphovsmannens ideella rätt innefattar rätt att bli nämnd som upphovsman i den omfattning som god sed kräver vid användning av dokumentet på ovan beskrivna sätt samt skydd mot att dokumentet ändras eller presenteras i sådan form eller i sådant sammanhang som är kränkande för upphovsmannens litterära eller konstnärliga anseende eller egenart.

För ytterligare information om Linköping University Electronic Press se förlagets hemsida <http://www.ep.liu.se/>

Copyright

The publishers will keep this document online on the Internet — or its possible replacement — for a period of 25 years from the date of publication barring exceptional circumstances.

The online availability of the document implies a permanent permission for anyone to read, to download, to print out single copies for his/her own use and to use it unchanged for any non-commercial research and educational purpose. Subsequent transfers of copyright cannot revoke this permission. All other uses of the document are conditional on the consent of the copyright owner. The publisher has taken technical and administrative measures to assure authenticity, security and accessibility.

According to intellectual property law the author has the right to be mentioned when his/her work is accessed as described above and to be protected against infringement.

For additional information about the Linköping University Electronic Press and its procedures for publication and for assurance of document integrity, please refer to its www home page: <http://www.ep.liu.se/>