การพัฒนาตัวควบคุม PID เชิงเลขขนาดกะทัดรัด

นาย สุริยงค์ เลิศกุลวาณิชย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2536

ISBN 974 - 583 - 058 - 5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018860

117130049

A Development of Compact Digital PID Controller

Mr. Suriyong Lertkulvanich

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1993

ISBN 974 - 583 - 058 - 5

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาตัวควบคุม PID เชิงเลขขนาดกะทัดรัด

โดย นาย สุริยงค์ เลิศกุลวาณิชย์

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. สมบูรณ์ จงชัยกิจ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. โคทม อารียา)

.... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. สมบูรณ์ จงชัยกิจ)

.... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ กฤษดา วิศวธีรานนท์)

.... กรรมการ

(คุณ สุภัค พงศ์พิพัฒน์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

สุริยงค์ เลิศกุลวาณิชย์ : การพัฒนาตัวควบคุม PID เชิงเลขขนาดกะทัดรัด (A Development of Compact Digital PID Controller) อ.ที่ปรึกษา : ดร. สมบูรณ์ จงชัยกิจ, 170 หน้า . ISBN 974-583-058-5

วิทยานิพนธ์นี้กล่าวถึงการออกแบบ พัฒนาและสร้างตัวควบคุม PID เชิงเลขขนาดกะทัดรัด โดยสัญญาณขาเข้าได้มาจากเทอร์โมคัปเปิลหรือสัญญาณกระแสไฟตรงมาตรฐาน 4-20 mA สัญญาณขาออกของเครื่องเป็นสัญญาณกระแสไฟตรงมาตรฐาน 4-20 mA การควบคุมของตัวควบคุมมีรูปแบบให้ผู้ใช้เลือกได้ 2 แบบ การออกแบบของตัวควบคุมเน้นถึงความสะดวกในการใช้งานของผู้ใช้และความกะทัดรัดเป็นหลัก การติดต่อกับผู้ใช้อาศัยปุ่มกด 5 ปุ่ม และจอแสดงแบบ LCD ผลของการพัฒนาตัวควบคุม PID เชิงเลขขนาดกะทัดรัดนี้สามารถนำไปพัฒนาเป็นเครื่องต้นแบบเชิงอุตสาหกรรมได้ในอนาคต

ตัวควบคุมที่สร้างขึ้นถูกนำไปทดสอบกับโปรเซสในห้องปฏิบัติการซึ่งมีรูปแบบการควบคุมโดยการป้อนกลับอย่างง่าย ผลของการทดสอบปรากฏว่าตัวควบคุมเชิงเลขที่พัฒนาขึ้นสามารถควบคุมโปรเซสได้เป็นที่น่าพอใจ ด้วยเวลาในการทำงานแต่ละรอบเท่ากับ 100 มิลลิวินาที

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิชา ออกแบบอิเล็กทรอนิกส์

ปีการศึกษา 2535

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C215508 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEY WORD: PID CONTROLLER / DIGITAL

SURIYONG LERTKULVANICH : A DEVELOPMENT OF A COMPACT DIGITAL PID CONTROLLER. THESIS ADVISOR : DR.SOMBOON CHONGCHAIKIT,170 pp. ISBN 974-583-058-5

This thesis deals with the design, development and construction of Compact Digital PID Controller. The input of the controller can be TC sensor or standard current 4-20 mA DC. The output is standard current 4-20 mA DC. The controller provides 2 types of PID algorithm which can be selected by user. User friendliness and compactness are the main design concept. Operator interface is done via five push buttons and LCD display. The result of the development can be used to construct a prototype for industrial product.

The built controller was tested in the laboratory by using model plant with simple feedback control loop. The test result met the design criteria with sampling period of 100 ms.

ภาควิชา สุริยงค์ เลิศกุลวาณิชย์	ลายมือชื่อนิสิต
สาขาวิชา ออกแบบอิเล็กทรอนิกส์	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2535	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อ.ดร.สมบูรณ์ จงชัยกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นตลอด จนจัดหาตำราและค่าใช้จ่ายในการวิจัย จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ และขอขอบพระคุณ คุณสุภัค พงศ์พิพัฒน์ บริษัท WISCO ที่ให้คำปรึกษาและเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และวงจรที่ใช้งาน ขอขอบคุณแผนกศูนย์สอบเทียบเครื่องมือวัด ศูนย์ส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือในการสอบเทียบ และขอขอบคุณ คุณสุภนันท์ หิรัญพิสุทธิ์ คุณอมร ตัณวรรณรักษ์ คุณ เสกสรร วัฒนโชติ คุณพิษณุ กิจไพฑูรย์ คุณรุ่งนภา สมบูญสุโข และทุกท่านที่มิได้เอ่ยนามที่เป็นกำลังใจและมีส่วนช่วยเหลือทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลงด้วยดี

และท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ มารดา บิดา และบุคคลที่บ้าน ที่ให้การสนับสนุนและเป็นที่กำลังใจที่สำคัญแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

สารบัญ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... จ

กิตติกรรมประกาศ .... ฉ

สารบัญตาราง .... ฐ

สารบัญภาพ .... ฑ

บทที่

1. บทนำ

 1.1 ความเบื้องต้น 1

 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

 1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

 1.4 ขั้นตอนของการวิจัย 3

 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

2. ตัวควบคุม PID เชิงเลข

 2.1 โครงสร้างการคำนวณชนิดต่างๆ ของการควบคุมแบบ PID 4

 2.2 อัลกอริธึมของตัวควบคุม PID เชิงเลข 5

 2.3 การประมาณค่าแบบเชิงเส้นและการแปลงผันข้อมูล 7

 2.4 แนวคิดการออกแบบฮาร์ดแวร์ 8

  2.4.1 ความละเอียด (Resolution) ของวงจรแปลงผัน A/D และ D/A 9

  2.4.2 ตัวประมวลผล (CPU) 9

  2.4.3 แหล่งเก็บข้อมูล 10

 2.5 แนวคิดการออกแบบซอฟต์แวร์ 10

  2.5.1 โครงสร้างของงาน (Task) ของตัวควบคุม PID 10

  2.5.2 ลักษณะของวิธีการทำงาน 11

  2.5.3 การออกแบบโปรแกรมการทำงาน 11

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.3.1 โปรแกรมอินเทอร์รัพต์ (Interrupt program) 11

2.5.3.2 โปรแกรมหลัก (Main program) 11

2.6 แนวคิดการออกแบบการใช้งานแผงหน้าปัด 12

2.6.1 จำนวนพารามิเตอร์ที่ผู้ใช้กำหนดให้กับเครื่อง 12

2.6.2 รูปแบบการแสดงผล 12

3. ฮาร์ดแวร์ของตัวควบคุม PID เชิงเลข

3.1 ส่วนประมวลผลกลาง 15

3.1.1 ซีพียู 15

3.1.2 NV RAM (Non-Volatile RAM) 15

3.2 ส่วนแปลงผันสัญญาณ 15

3.3 สวิตช์กำหนดสถานะการทำงานของตัวควบคุม 17

3.4 อินพุต 17

3.5 เอาต์พุต 18

3.6 วงจรเตือน (Alarm circuit) 18

3.7 ส่วนแสดงผลและรับข้อมูลจากปุ่มบนแผงหน้าปัด 18

3.8 ช่องทางสื่อสาร 19

3.9 แอดเดรสของฮาร์ดแวร์ 19

3.9.1 อุปกรณ์รอบนอกของซีพียู 19

3.9.1.1 พอร์ต (Port) 19

3.9.1.2 ไทม์เมอร์ 20

3.9.1.3 PCA (Programmable Counter Array) 20

3.9.2 ฮาร์ดแวร์ภายนอก 20

4. โครงสร้างทางซอฟต์แวร์

4.1 โปรแกรมอินเทอร์รัพต์ (Interrupt program) 22

4.2 โปรแกรมหลัก (Main program) 22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.1 โปรแกรมที่ทำงานเพียงครั้งเดียว 23

4.2.2 โปรแกรมที่ทำงานแบบวนรอบ 23

4.3 รายละเอียดของโปรแกรมต่างๆ 27

4.3.1 โปรแกรมการรับข้อมูลปุ่มกดจากผู้ใช้ทางแผงหน้าปัด 27

4.3.2 โปรแกรมการบริการปุ่มกด "Service_one_key" 29

4.3.3 โปรแกรมการแสดงผล "Display routine" 29

4.3.4 โปรแกรมการแสดงผลแบบแสดงค่าและแก้ไขข้อมูล 29

4.3.5 โปรแกรมการแสดงผลแบบกราฟแท่ง "Display_bar" 36

4.3.6 โปรแกรมแสดงข้อมูลการเตือน "Alarm_echo" 38

4.3.7 โปรแกรมการแสดงการทำงานผิดพลาด "Display_error" 38

4.3.8 โปรแกรมตรวจสอบอินพุตเกินพิสัย 39

4.3.9 โปรแกรมการประมาณค่าอินพุตแบบ Successive "sa12" 39

4.3.10 โปรแกรมการตรวจสอบ RAM "Xramchk" 42

4.3.11 โปรแกรมการกำหนดค่าเริ่มต้นสำหรับอินพุต 42

4.3.12 โปรแกรมการประมาณค่าข้อมูลแบบเชิงเส้น 42

4.3.13 โปรแกรมการคำนวณสัมประสิทธิ์ของ PID "Calcoef" 42

4.3.14 โปรแกรมกำหนดค่าเริ่มต้นสำหรับฐานเวลา "Init_timebase" 46

4.3.15 โปรแกรมกำหนดค่าเริ่มต้นสำหรับตัวตั้งเวลาการสุ่ม 47

5. การทำแผงหน้าปัดของตัวควบคุม PID เชิงเลขขนาดกะทัดรัด

5.1 รายละเอียดของแผงหน้าปัด 49

5.1.1 จัดการเกี่ยวกับตัวแปร 49

5.1.2 จัดการเลือกลักษณะสัญญาณขาออก (Output Selection) 50

5.1.3 จัดการเลือกลักษณะการแสดงผล (Display Selection) 50

5.2 ลักษณะของส่วนแสดงผล 50

5.2.1 แสดงชนิดของสัญญาณขาออก (MV) 50

5.2.2 แสดงค่าของตัวแปร 50

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.2.3 แสดงกราฟของตัวแปรในโปรเซส 50

5.2.4 แสดงการเตือนเนื่องจากสัญญาณ PV 51

5.2.5 แสดงข่าวสารที่ผิดพลาด (Error message) 51

5.3 องค์ประกอบของแผงหน้าปัด 51

5.3.1 จำนวนปุ่มรับข้อมูล 51

5.3.2 ส่วนแสดงผล 52

5.4 การพิจารณาโดยวิธีของ Aesthetic 53

5.5 การพิจาณาโดยวิธีของ Ergonomic 53

5.5.1 รหัสสีที่ใช้ 53

5.5.2 ตำแหน่งและลักษณะการวางปุ่ม 53

5.5.3 การวางองค์ประกอบโดยรวม 53

5.6 โครงสร้างของแผงหน้าปัดของตัวควบคุม 54

6. การสร้างตัวควบคุมและการทดสอบ

6.1 การสร้างตัวควบคุม 55

6.1.1 การพัฒนาฮาร์ดแวร์ของตัวควบคุม 55

6.1.1.1 แผ่นวงจรหลัก (Main board) 55

6.1.1.2 แผ่นวงจรรอง (Sub-main board) 56

6.1.1.3 แผ่นวงจรของแผงหน้าปัด (Control panel board) 57

6.1.2 การพัฒนาซอฟต์แวร์ของตัวควบคุม 58

6.2 การทดสอบตัวควบคุม 58

6.2.1 การทดสอบความถูกต้องของพารามิเตอร์ของการควบคุมแบบ PID ... 60

6.2.2 การทดสอบกับระบบจำลองของการควบคุมระดับ 65

6.2.3 การทดสอบแปลงผันอุณหภูมิ 69

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

7. บทสรุปและข้อเสนอแนะ
7.1 สรุปผลการทำวิทยานิพนธ์ 70
7.1.1 ระบบการควบคุม 70
7.1.2 หน่วยความจำภายนอก 70
7.1.3 อินพุต 70
7.1.4 เอาต์พุต 70
7.1.5 แผงหน้าปัด 70
7.2 ข้อเสนอแนะ 70
7.2.1 ฮาร์ดแวร์ 70
7.2.2 ซอฟต์แวร์ 71
7.2.3 อื่นๆ 71
รายการอ้างอิง 72
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก คู่มือการใช้ตัวควบคุม PID เชิงเลขขนาดกะทัดรัด 75
ภาคผนวก ข โปรแกรมของตัวควบคุม PID เชิงเลขขนาดกะทัดรัด 94
ภาคผนวก ค โปรแกรมของ GAL 156
ภาคผนวก ง วงจรของตัวควบคุม PID เชิงเลขขนาดกะทัดรัด 159
ประวัติผู้เขียน 171

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 ตารางแสดงวิธีการกำหนดตำแหน่งดิพสวิตช์เมื่อต่อกับเทอร์โทคัปเปิลชนิดต่างๆ 18

3.2 แสดงบิตต่างๆของพอร์ต 3 20

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงหลักการของวงจร Signal conditioner 7
รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมเชิงเลข 9
รูปที่ 2.3 แสดงจำนวนงานของตัวควบคุม PID 10
รูปที่ 2.4ก) แสดงแผงหน้าปัดในรูปแบบการแสดงข้อมูลเป็นตัวเลข 13
ข) แสดงผลหน้าปัดในรูปแบบการแสดงข้อมูลเป็นกราฟแท่ง 14
รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของฮาร์ดแวร์ 16
รูปที่ 3.2 แสดงตำแหน่งต่างๆ ของดิพสวิตช์ 17
รูปที่ 3.3 แสดง Memory map ของฮาร์ดแวร์ภายนอก 21
รูปที่ 4.1 ก) แสดงผังงานของโปรแกรมอินเทอร์รัพต์ 23
รูปที่ 4.1 ข) แสดงผังงานของการคำนวณการควบคุมแบบ PID 24
รูปที่ 4.2 แสดงผังงานของโปรแกรมหลัก 26
รูปที่ 4.3 แสดงผังงานของส่วนการรับข้อมูลจากปุ่มกด 28
รูปที่ 4.4 แสดงผังงานของโปรแกรมการบริการปุ่มกด 30
รูปที่ 4.5 แสดงผังงานของโปรแกรมการแสดงแสดงผล 34
รูปที่ 4.6 แสดงผังงานการทำงานของส่วนแสดงผลแบบแสดงค่าข้อมูล 35
รูปที่ 4.7 แสดงผังงานการทำงานของส่วนแสดงผลแบบกราฟแท่ง 37
รูปที่ 4.8 แสดงผังงานของโปรแกรมแสดงข้อมูลการเตือน 38
รูปที่ 4.9 แสดงผังงานของโปรแกรมการแสดงการทำงานผิดพลาด 39
รูปที่ 4.10 แสดงผังงานของการทำงานของโปรแกรมการตรวจสอบอินพุตเกินพิสัย 40
รูปที่ 4.11 แสดงผังงานของโปรแกรมการประมาณค่าอินพุตแบบ Successive 41
รูปที่ 4.12 แสดงผังงานของโปรแกรมการตรวจสอบ RAM 43
รูปที่ 4.13 แสดงผังการทำงานของโปรแกรม Cal_sens_parameter 44
รูปที่ 4.14 แสดงผังงานของโปรแกรม Linear_and_convert 45
รูปที่ 4.15 แสดงผังงานของการคำนวณสัมประสิทธิ์ของ PID 46
รูปที่ 4.16 โปรแกรมการกำหนดค่าฐานเวลาสำหรับมอดูล PCA "Init_timebase" 47

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

รูปที่ 4.17 ผังงานของโปรแกรมการกำหนดค่าเริ่มต้นสำหรับตัวตั้งเวลาการสุ่ม 48

รูปที่ 5.1 แสดงตัวอย่างของการแสดงค่าของตัวแปร 50

รูปที่ 5.2 แสดงตัวอย่างของการแสดงกราฟของตัวแปรในโปรเซส 50

รูปที่ 5.3 แสดงแผงหน้าปัดที่ออกแบบ 52

รูปที่ 5.4 แสดงรูปแบบของแผ่น Epoxy ที่ใช้เป็นโครงสร้างรองรับแผงหน้าปัด 54

รูปที่ 6.1 แสดงแผ่นวงจรหลัก 55

รูปที่ 6.2 ก) แสดงรูปของแผ่นวงจรรองเมื่ออินพุตเป็นเทอร์โมคัปเปิล 56

รูปที่ 6.2 ข) แสดงรูปของแผ่นวงจรรองเมื่ออินพุตเป็นสัญญาณกระแสมาตรฐาน 57

รูปที่ 6.3 แสดงรูปของส่วนแสดงผลและส่วนรับข้อมูล 57

รูปที่ 6.4 ก) แสดงต้นแบบตัวควบคุม PID เชิงเลขมอดูล TC 58

รูปที่ 6.4 ข) แสดงต้นแบบตัวควบคุม PID เชิงเลขมอดูล mA 59

รูปที่ 6.5 แสดงการต่อตัวควบคุมเพื่อทดสอบพารามิเตอร์ 60

รูปที่ 6.6 แสดงการปรับตั้งดิพสวิตช์สำหรับการทดสอบพารามิเตอร์ 60

รูปที่ 6.7 แสดงผลการทดสอบเมื่อพารามิเตอร์เป็น PB = 100, T_I = 60, T_D = 0 (P-only action) 62

รูปที่ 6.8 แสดงผลการทดสอบเมื่อพารามิเตอร์เป็น PB = 100, T_I = 60, T_D = 0 (PI action) 63

รูปที่ 6.9 แสดงผลการทดสอบเมื่อพารามิเตอร์เป็น PB = 100, T_I = 60, T_D = 0 (PD action) 64

รูปที่ 6.10 แสดงระบบจำลองของการควบคุมระดับน้ำ 65

รูปที่ 6.11 แสดงการปรับตั้งดิพสวิตช์สำหรับการทดสอบการควบคุมระดับน้ำ 65

รูปที่ 6.12 แสดงผลการทดสอบตัวควบคุมในการควบคุมระดับน้ำ 67

รูปที่ 6.13 แสดงผลการทดสอบเครื่องควบคุมเมื่อมีสิ่งรบกวนระบบ 10% 68

รูปที่ 6.14 แสดงการตั้งดิพสวิตช์สำหรับการทดลองการแปลงผัน 68