การประยุกต์ใช้ระบบควบคุมแบบป้อนกลับสำหรับสเตปปิ้งมอเตอร์กับโต๊ะ X-Y

นายสุวัฒน์ พิพัฒน์พงศา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2531

ISBN 974-569-552-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

014311

i 10300405

APPLICATION OF A CLOSED LOOP CONTROL SYSTEM FOR STEPPING MOTORS TO AN X-Y TABLE

Mr. Suwat Pipatpongsa

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Mechanical Engineering

Graduate school

Chulalongkorn University

1988

ISBM 974-569-552-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประยุต์ใช้ระบบควบคุมแบบป้อนกลับสำหรับสเตปปิ้งมอเตอร์กับโต๊ะ X-Y
โดย นายสุวัฒน์ พิพัฒน์พงศา
ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.วริทธ์ อึ๊งภากรณ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ)

สุวัฒน์ ทิพัฒน์พงศ์ : การประยุกต์ใช้ระบบควบคุมแบบป้อนกลับสำหรับสเตปปิ้งมอเตอร์กับโต๊ะ X-Y (APPLICATION OF A CLOSED LOOP CONTROL SYSTEM FOR STEPPING MOTORS TO X-Y TABLE) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.วิบูลย์ แส่งวีระพันธุ์ศิริ, 185 หน้า.

โครงการวิทยานิพนธ์นี้ เป็นการศึกษาการนำเอาไมโครคอมพิวเตอร์มาใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ในแนวระนาบของโต๊ะ X-Y โดยการเคลื่อนที่ในแต่ละแกนนั้นจะถูกขับด้วยสเตปปิ้งมอเตอร์ การออกแบบระบบควบคุมเป็นแบบปิด วิธีการควบคุมใช้แบบ พี.ไอ. และ พี.ไอ.พี (Proprotional + Integral + Preview) ในการใช้งานสามารถกำหนดลักษณะของแนวทางเดินและความเร็วของการเคลื่อนที่ โดยมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนขึ้นด้วยภาษา C ทำหน้าที่คำนวณตำแหน่งแนวทางเดินที่ต้องการ

จากการทดลอง โดยกำหนดแนวทางเดินการเคลื่อนที่เป็นวงกลม โดยใช้ระบบควบคุมแบบ พี.ไอ. ที่ความเร็ว 0.5 นิ้ว/วินาที พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดซึ่งเป็นผลมาจากแบคแลชของชุดเฟืองทด ขนาดก้าวของสเตปปิ้งมอเตอร์และระบบการควบคุม ที่จุดเปลี่ยนความโค้งมีค่า 0.049 นิ้วในแนวแกน X และ 0.051 นิ้วในแนวแกน Y เมื่อใช้ระบบควบคุมแบบ พี.ไอ.พี. โดยใช้ระยะตำแหน่งล่วงหน้าก้าวที่ 5 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเป็น 0.008 นิ้วในแนวแกน X และ 0.014 นิ้วในแนวแกน Y ที่ความเร็วเดียวกัน จะเห็นว่า ค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเปรียบเทียบการควบคุมแบบ พี.ไอ. และแบบ พี.ไอ.พี. แล้ว ค่าความคลาดเคลื่อนจากระบบ พี.ไอ.พี. จะมีค่าน้อยกว่าระบบ พี.ไอ. อยู่ 83.67 % ในแนวแกน X และ 72.54 % ในแนวแกน Y ที่ค่าความเร็ว 0.5 นิ้ว/วินาที

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2531 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SUWAT PIPATPONGSA : APPLICATION OF A CLOSED LOOP CONTROL SYSTEM FOR STEPPING MOTORS TO AN X-Y TABLE. THESIS ADVISOR : ASIS. PROF. VIBOON SANGVERAPHUNSIRI,Ph.D. 185 PP.

This thesis is a study of a microcomputer control of plane motion X-Y table. The motion in each direction is driven by a stepping motor. Closed loop control in digital form is chosen for designing the controller. The technique of PI and PIP (Proportional+ Integral + Preview) are implemented Speed and direction in each reference axis may be specified in advance by commands written in C-language.

The experiments of PI tecnique, the maximun error which includes the error due to bachlash, step size of the stepping motor and controller technique, in each direction at the inflextion point of circular motion is 0.049 inch in X-axis and 0.051 inch in Y-axis when the travelling velocity is 0.5 inch/seccond. In the case of PIP technique with the 5th step advanced specification, the maximun error in X-axis is 0.008 inch and is 0.014 inch in Y-axis at the same travelling speed. The error comparisons show that errors in PIP controlled system is 83.67 % less than PI controlled system in the X-axis and 72.54 % less in Y-axis at a working speed of 0.5 inch/second.

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2531

ลายมือชื่อนิสิต .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้โดยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดต่างๆ ของการวิจัยมาด้วยดีตลอด และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยนี้บางส่วน ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

นายสุวัฒน์ พิพัฒน์พงศา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญภาพ ..... ช

บทที่

1. บทนำ 1
2. สเตปปิ้งมอเตอร์และระบบการควบคุม 4
3. เทคนิคการควบคุมการเคลื่อนที่ 8
4. อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย 16
5. การจำลองแบบและการออกแบบตัวควบคุม 28
6. การทดสอบและการวิเคราะห์ผล 40
7. สรุปและข้อเสนอแนะ 84

บรรณานุกรม 86

ภาคผนวก 87

ประวัติผู้เขียน 185

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่

2.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางขจัดกับเวลา ในขณะที่เคลื่อนที่แบบไม่ต่อเนื่อง 4

2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางขจัดกับเวลา ในขณะเคลื่อนที่แบบสลิวลิ่ง 5

2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับอัตราเร็ว 6

2.4 ไดอะแกรมแสดงรายละเอียดอุปกรณ์ควบคุมการหมุน ของสเตปปิ้งมอเตอร์ 6

2.5 แสดงการประยุกต์ใช้สเตปปิ้งมอเตอร์ในเครื่อง เอ็นซี 7

2.6 แสดงการใช้ระบบการควบคุมแบบป้อนกลับ 7

3.1 แสดงการควบคุมแบบเซอร์โว 8

3.2 แสดงการควบคุมแบบพรีวิว 9

3.3 แสดงระบบการควบคุมแบบ พี.ไอ.พี. กับสเตปปิ้งมอเตอร์ 11

3.4 แสดงการประยุกต์ระบบควบคุมแบบ พี.ไอ.พี กับโต๊ะ X-Y 12

3.5 แสดงการสร้างจุดพิกัดอ้างอิงในแบบเส้นตรง 14

3.6 แสดงการสร้างจุดพิกัดอ้างอิงในแบบเส้นโค้ง 15

4.1 บล๊อกไดอะแกรมแสดงรายละเอียดของระบบควบคุมการหมุน ของสเตปปิ้งมอเตอร์แบบปิดกับโต๊ะ X-Y 17

4.2 แสดงลักษณะของแผ่นจานหมุน 18

4.3 แสดงวงจรไฟฟ้าของ ออฟติกัลเอนโคดเดอร์ 19

4.4 รูปสัญญาณที่ได้จากเอนโคดเดอร์ 19

4.5 ไดอะแกรมแสดงลำดับของเอนโคดเดอร์ 20

4.6 แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทของอีพรอม 20

4.7 แสดงโปรแกรมที่เก็บไว้ในอีพรอม 21

4.8 บล๊อกไดอะแกรมของวงจรนับตำแหน่ง 22

4.9 แสดงวงจรของแซมปิ้งและโฮล 24

4.10 แสดงวงจรโวลเตทเปลี่ยนเป็นความถี่ 26

4.11 ตารางแสดงการจัดลำดับของการกระตุ้นแบบ 2 เฟส 26

หน้า

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่

4.12 แสดงวงจรควบคุมการหมุนของสเตปปิ้งมอเตอร์ 27
5.1 บล้อกไดอะแกรมแสดงระบบควบคุมแบบ พี.ไอ. 33
5.2 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากแบบจำลองสภาพการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง เมื่อ K_p = 30,K_i = 1.0 ที่ความเร็ว 0.5 in/sec 35
5.3 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากแบบจำลองสภาพการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง เมื่อ K_p = 30,K_i = 1.2 ที่ความเร็ว 0.5 in/sec 36
5.4 Bode Plot ของระบบควบคุมที่ใช้ในการทดลอง 37
5.5 แสดงตำแหน่ง Close-loop pole ใน s-Plane 38
6.1 แสดงลักษณะของทางเดินที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมโดยมีรัศมี 0.5 นิ้ว .. 42
6.2 แสดงลักษณะของทางเดินที่เป็นเส้นตรงหักมุม 90 องศา 42
6.3 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.3 in/sec 44
6.4 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.5 in/sec 45
6.5 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.7 in/sec 46
6.6 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.3 in/sec 47
6.7 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.5 in/sec 48
6.8 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.7 in/sec 49
6.9 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.3 in/sec เมื่อใช้ระยะพรีวิวก้าวที่ 1 53
6.10 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.3 in/sec เมื่อใช้ระยะพรีวิวก้าวที่ 3 54

หน้า

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่

6.11 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.3 in/sec เมื่อใช้ระยะพรีวิวก้าวที่ 5 55
6.12 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.3 in/sec เมื่อใช้ระยะพรีวิวก้าวที่ 7 56
6.13 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.5 in/sec เมื่อใช้ระยะพรีวิวก้าวที่ 1 57
6.14 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.5 in/sec เมื่อใช้ระยะพรีวิวก้าวที่ 3 58
6.15 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.5 in/sec เมื่อใช้ระยะพรีวิวก้าวที่ 5 59
6.16 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.5 in/sec เมื่อใช้ระยะพรีวิวก้าวที่ 7 60
6.17 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.7 in/sec เมื่อใช้ระยะพรีวิวก้าวที่ 1 61
6.18 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.7 in/sec เมื่อใช้ระยะพรีวิวก้าวที่ 3 62
6.19 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.7 in/sec เมื่อใช้ระยะพรีวิวก้าวที่ 5 63
6.20 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.7 in/sec เมื่อใช้ระยะพรีวิวก้าวที่ 7 64
6.21 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงหักมุมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.3 in/sec เมื่อใช้ระยะพรีวิวก้าวที่ 1 65
6.22 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงหักมุมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.3 in/sec เมื่อใช้ระยะพรีวิวก้าวที่ 3 66
6.23 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงหักมุมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.3 in/sec เมื่อใช้ระยะพรีวิวก้าวที่ 5 67
6.24 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงหักมุมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.3 in/sec เมื่อใช้ระยะพรีวิวก้าวที่ 7 68

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่

6.25 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงหักมุมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.5 in/sec เมื่อใช้ระยะพรีวิวก้าวที่ 1 69
6.26 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงหักมุมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.5 in/sec เมื่อใช้ระยะพรีวิวก้าวที่ 3 70
6.27 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงหักมุมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.5 in/sec เมื่อใช้ระยะพรีวิวก้าวที่ 5 71
6.28 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงหักมุมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.5 in/sec เมื่อใช้ระยะพรีวิวก้าวที่ 7 72
6.29 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงหักมุมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.7 in/sec เมื่อใช้ระยะพรีวิวก้าวที่ 1 73
6.30 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงหักมุมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.7 in/sec เมื่อใช้ระยะพรีวิวก้าวที่ 3 74
6.31 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงหักมุมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.7 in/sec เมื่อใช้ระยะพรีวิวก้าวที่ 5 75
6.32 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงหักมุมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.7 in/sec เมื่อใช้ระยะพรีวิวก้าวที่ 7 76
6.33 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.3 in/sec เมื่อใช้ระยะพรีวิวก้าวที่ 3 จุดและ K_{pr} = 28 .. 78
6.34 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.5 in/sec เมื่อใช้ระยะพรีวิวก้าวที่ 5 จุดและ K_{pr} = 32 .. 79
6.35 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.7 in/sec เมื่อใช้ระยะพรีวิวก้าวที่ 5 จุดและ K_{pr} = 34 .. 80
6.36 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงหักมุมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.3 in/sec เมื่อใช้ระยะพรีวิวก้าวที่ 3 จุดและ K_{pr} = 20 .. 81
6.37 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นเส้นตงหักมุมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.5 in/sec เมื่อใช้ระยะพรีวิวก้าวที่ 5 จุดและ K_{pr} = 25 .. 82
6.38 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงหักมุมของโต๊ะ X-Y ที่ความเร็ว 0.7 in/sec เมื่อใช้ระยะพรีวิวก้าวที่ 5 จุดและ K_{pr} = 28 .. 83