403

การจำลองแบบระบบควบคุมระดับของสองถัง

นายสุรัตน์ บุญพึ่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยาพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ. ศ. 2538

ISBN 974-632-471-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16755637

SIMULATION OF A TWO TANK LEVEL CONTROL SYSTEM

Mr. Surat Boonpung

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineeing

Graduate School

Chulalongkorn University

1995

ISBN 974-632-471-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจำลองแบบระบบควบคุมระดับของสองถัง
โดย	นายสุรัตน์ บุญพึ่ง
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.วราภรณ์ ธนะกุลรังสรรค์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

สุรัตน์ บุญพึ่ง : การจำลองแบบระบบควบคุมระดับของสองถัง (SIMULATION OF A TWO TANK LEVEL CONTROL) อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี 121 หน้า, ISBN 974-632-471-3

โปรแกรม TTLSIM ถูกเขียนขึ้นด้วยภาษาซี โดยทำการจำลองแบบระบบควบคุมระดับของสองถัง เพื่อหาข้อสรุปว่า ระบบที่ทำการจำลองซึ่งเป็นระบบที่ไม่เชิงเส้นอย่างมาก สามารถถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดีได้หรือไม่. อีกประการหนึ่ง ต้องการนำโปรแกรมที่เขียนขึ้นนี้ไปใช้เป็นโปรแกรมช่วยสอนในวิชา พลวัตและการควบคุมของกระบวนการ. การทดสอบการควบคุมกระทำโดยหาพารามิเตอร์ของตัวควบคุมโดยใช้วิธีของ Ziegler-Nichols แบบดั้งเดิม (แบบเกนสุดยอด) และแบบทดลอง-สอบผล. และการทดสอบการใช้งานเป็นโปรแกรมช่วยสอน กระทำโดยให้ผู้เกี่ยวข้องทดลองใช้

จากการทดสอบพบว่า ระบบที่ถูกจำลองสามารถถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดีได้ทุกโมด. และสามารถนำไปใช้เป็นโปรแกรมช่วยสอนได้.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2537 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C316660 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEY WORD : TWO-TANK / SIMULATION / CAI
SURAT BOONPUNG : SIMULATION OF A TWO TANK LEVEL CONTROL SYSTEM,
THESIS ADVISOR : DR. MONTREE WONGSRI, 121 pp. ISBN.974-632-471-3

The simulation program of a two tank level control system, written in C language, is created to study a nonlinear system with PID controller. Then this program written can be used as CAI in Process Dynamic and Control. The test of this program is due to find the control parameters by Ziegler-Nichols (original) and trial-and-error methods. The test of operation of CAI is done by user.

From the tests, the simulated system can be controlled by PID controller, and can be used as CAI.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2537 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้โดยได้รับความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อ.ดร. มนตรี วงศ์ศรี ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางการทำงานวิจัย, แนวทางการแก้ปัญหา และให้ข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนการตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเป็นรูปเล่มที่สมบูรณ์.

นอกจากนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ กลุ่มวิจัยการควบคุมกระบวนการ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ ทำให้การวิจัยของข้าพเจ้า สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ประกอบด้วย

ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม	ประธานกรรมการ
อาจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี	กรรมการและที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
อาจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล	กรรมการ
อาจารย์ ดร.วราภรณ์ ธนะกุลรังสรรค์	กรรมการ

ซึ่งได้ให้ความสนใจ และให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์เพิ่มเติม ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น. ท้ายที่สุดนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้า จนสำเร็จการศึกษา.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ณ

สารบัญรูปภาพ ..... ด

คำอธิบายสัญญลักษณ์ ..... น

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 3

1.3 ขอบเขต 3

1.4 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ 4

บทที่ 2 การเลียนแบบระบบ 6

2.1 คำนำ 6

2.1.1 การเลียนแบบระบบด้วยวงจรไฟฟ้า 7

2.1.2 การเลียนแบบระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 8

2.2 การเลียนแบบระบบด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ 9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.1 การสร้างสมการจากการทดลอง....9

2.2.2 การสร้างสมการจากทฤษฎี....11

2.3 สมการพลวัตของกระบวนการ....11

2.4 โปรแกรมช่วยสอน....14

บทที่ 3 แบบจำลองกระบวนการ....15

3.1 คำนำ....15

3.2 ระบบสองถัง....15

3.2.1 กระบวนการของระบบ....16

3.2.2 สมการแบบจำลอง....17

บทที่ 4 การควบคุมแบบป้อนกลับ....25

4.1 คำนำ....25

4.2 ลูปการควบคุมแบบป้อนกลับ....25

4.3 วาล์วควบคุม....27

4.3.1 สมการการไหลของของเหลวผ่านวาล์ว....27

4.3.2 ค่าคงที่คุณสมบัติของวาล์ว....28

4.4 ตัวควบคุม....31

4.4.1 ตัวควบคุมแบบพีไอดีชนิดอนาล็อก....31

4.4.2 ตัวควบคุมแบบพีไอดีชนิดดิจิตัล....32

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5 โปรแกรมเลียนแบบระบบ 35

5.1 คำนำ 35

5.2 โปรแกรม TANKSIM 36

5.2.1 โครงสร้างของโปรแกรม TANKSIM 36

5.2.2 การทำงานของโปรแกรม 38

5.2.3 การติดต่อกับผู้ใช้ 39

5.3 ผลการเลียนแบบระบบ 61

5.3.1 กรณีไม่มีการกระทบกัน (ไม่ส่งผลกระทบกัน) ระหว่างถังทั้งสอง 61

5.3.2 กรณีมีการกระทบกัน 64

5.3.3 กรณีใช้พารามิเตอร์ของตัวควบคุมชุดเดียว 69

5.3.4 กรณีเกิดการรบกวนจากภายนอก 71

5.3.5 กรณีที่ใช้วาล์วควบคุมแบบไม่เชิงเส้น 72

5.3.6 กรณีที่เซ็ทพอยท์ในลูปที่สองอยู่ที่จุดต่อของการกระทบ 73

5.3.7 ผลตอบของระบบที่จูนแบบทดลอง-สอบผล 75

5.3.8 ผลตอบเมื่อเข้าสมดุลหลังเดินเครื่อง 77

5.3.9 เมื่อเปลี่ยนเซ็ทพอยท์เป็นฟังก์ชันแบบสเต็พ 79

5.3.10 เมื่อเปลี่ยนเซ็ทพอยท์ด้วยฟังก์ชันแบบพัลส์ 81

5.3.11 เมื่อเปลี่ยนเซ็ทพอยท์ด้วยฟังก์ชันแบบพัลส์ 2 ลูก 84

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.3.12 ผลตอบเมื่อใส่ตัวรบกวนแบบสเต็พ 86

5.3.13 ผลตอบเมื่อใส่ตัวรบกวนแบบพัลส์ 88

5.3.14 ผลตอบเมื่อใส่ตัวรบกวนแบบพัลส์ 2 ลูก 90

บทที่ 6 สรุป 92

6.1 ขีดจำกัดของ TANKSIM 92

6.1.1 การใช้เมาส์ในการป้อนข้อมูล 92

6.1.2 ประวัติการเลียนแบบระบบ 93

6.1.3 การเก็บประวัติและการนำประวัติเดิมมาใช้ 93

6.2 ข้อบกพร่องของ TANKSIM 93

6.2.1 โครงสร้างของโปรแกรม 93

6.2.2 การแสดงผล 94

6.2.3 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ 94

6.3 TANKSIM ในรูปของโปรแกรมช่วยสอน 95

6.3.1 ข้อสรุปจากผู้ใช้ระดับปวส. 95

6.3.2 ข้อสรุปจากผู้ใช้ที่เป็นอาจารย์ 96

6.3.3 ความคิดเห็นส่วนตัวของผู้เขียน 96

รายการอ้างอิง 97

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก. โฟลว์ชาร์ทและอัลกอริธึม 98

ก.1 ฟังก์ชัน MODEL 98

ก.1.1 โฟลว์ชาร์ทของฟังก์ชัน 99

ก.1.2 อัลกอริธึมของฟังก์ชัน MODEL 100

ก.2 ฟังก์ชัน GetPID 103

ก.2.1 โฟลว์ชาร์ทของฟังก์ชัน GetPID 103

ก.2.2 อัลกอริธึมของฟังก์ชัน GetPID 105

ก.3 ฟังก์ชัน KVC 107

ก.3.1 โฟลว์ชาร์ทของฟังก์ชัน KVC 108

ก.3.2 อัลกอริธึมของฟังก์ชัน KVC 108

ก.4 ฟังก์ชัน Get_K_R_Td 109

ก.4.1 โฟลว์ชาร์ทของฟังก์ชัน Get_K_R_Td 109

ก.4.2 อัลกอริธึมของฟังก์ชัน Get_K_R_Td 109

ก.5 ฟังก์ชัน Disturbance 110

ก.5.1 โฟลว์ชาร์ทของฟังก์ชัน Disturbance 111

ก.5.2 อัลกอริธึมของฟังก์ชัน Disturbance 112

ภาคผนวก ข. การจำลองแบบเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง 114

ข.1 คำนำ 114

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข.2 กระบวนการของระบบ.....114

ข.3 สมการจำลองกระบวนการ.....116

ข.4 หน้าจอของโปรแกรม.....120

ประวัติผู้เขียน.....121

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ชิ้นส่วนอุปกรณ์ทางอิเลคทรอนิคส์ที่ใช้ในการเลียนแบบระบบ 7

3.1 ค่าคงที่ของวาล์วควบคุมชนิดต่างๆ 21

5.1 พารามิเตอร์ที่ได้จากขั้นตอนการจูนตัวควบคุมตัวที่ 1 ในขณะที่ 63
ไม่มีการกระทบกันในระบบ

5.2 พารามิเตอร์ของระบบและตัวควบคุมที่ใช้ก่อนจูนตัวควบคุม 65
ในกรณีที่มีการกระทบกัน

5.3 พารามิเตอร์ที่ได้จากขั้นตอนการจูนตัวควบคุมตัวที่ 2 ในขณะที่ 67
มีการกระทบกันในระบบโดยเงื่อนไขตามตารางที่ 5.2

5.4 พารามิเตอร์ที่ได้จากการจูนตัวควบคุมแบบทดลอง-สอบผล.....76

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1 ตัวแปรอินพุต และ เอาท์พุท ในกระบวนการ 9

2.2 รูปทั่วไปของระบบ แสดงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับภายนอกระบบ 12

3.1 รูปกระบวนการของระบบ 2 ถัง 16

3.2 ช่วงเกิดการรบกวนกันและไม่รบกวนกัน 24

4.1 ถังที่ 1 ของระบบ 2 ถัง 26

4.2 รูปไดอะแกรมของลูปที่ 1 (ถังที่ 1) 26

4.3 รูปไดอะแกรมของลูปที่ 2 (ถังที่ 2) 27

4.4 ลิ้นของวาล์วควบคุมแบบต่างๆ 29

4.5 ค่าคงที่คุณสมบัติของวาล์วควบคุม 30

4.6 แบบของค่าคงที่ของวาล์วควบคุมที่ใช้ในโปรแกรมเลียนแบบระบบ 30

5.1 โครงสร้างของโปรแกรม TANKSIM 37

5.2 หน้าจอหลัก 40

5.3 หน้าจอ 'About' 40

5.4 หน้าจอเลียนแบบระบบ แสดงเส้นกราฟของพารามิเตอร์ 41

5.5 หน้าจอแสดงรูปไดอะแกรมของระบบขณะเลียนแบบ 42

5.6 หน้าจอแก้ไขค่า PB% ของตัวควบคุมตัวที่ 1 44

Chulalongkorn University

5.7 ปุ่มควบคุมวาล์วควบคุมด้วยมือ 45

5.8 หน้าจอแก้ไขเซ็ทพอยท์ 45

5.9 การตั้งการรบกวนด้วยฟังก์ชันแบบสเต็พ 47

5.10 หน้าจอดูประวัติการเลียนแบบระบบ 48

5.11 หน้าจอออกจาก TANKSIM ทางหน้าจอเลียนแบบระบบ 49

5.12 หน้าจอการออกจาก TANKSIM ทางหน้าจอหลัก 50

5.13 หน้าจอหนึ่งสำหรับการจำลองระบบถังเดียว 51

5.14 หน้าจอแก้ไขพารามิเตอร์ของระบบและตัวควบคุม 52

5.15 หน้าจอการเข้าสู่การแก้ไขพารามิเตอร์ 53

5.16 หน้าจอการแก้ไขความสูงของถังที่ 1 54

5.17 ภาพไดอะแกรมของระบบที่เปลี่ยนไป 54

5.18 หน้าต่างการแก้ไขค่าคงที่ของวาล์ว V_1 55

5.19 หน้าต่างการแก้ไขเส้นผ่าศูนย์กลางของถังที่ 1 56

5.20 เส้นผ่าศูนย์กลางของถังที่ถูกปรับให้เป็นอัตราส่วนกันระหว่างถังที่ 1 และถังที่ 2 ...57

5.21 หน้าต่างการแก้ไขพารามิเตอร์ของวาล์วควบคุมตัวที่ 1 57

5.22 หน้าต่างแก้ไขพารามิเตอร์ของตัวควบคุม 58

5.23 หน้าต่างแก้ไขการรบกวนระบบ 59

5.24 หน้าจอภาพไดอะแกรมการแก้ไขพารามิเตอร์ในระบบถังเดียว 60

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.25 ลักษณะการแกว่งของระดับของเหลวในถังที่ 1 เมื่อกระทำตามขั้นตอน 62
การจูนตัวควบคุมตามวิธีของ Ziegler-Nichols แบบดั้งเดิม

5.26 การแกว่งด้วยเกนสุดยอด ของการจูนตัวควบคุมตัวที่ 1 เมื่อมีการกระทบกัน 66

5.27 การตอบสนองของระบบที่จูนแล้วในช่วงแรก 68

5.28 การตอบสนองของระบบที่จูนแล้วช่วงกระทบกัน 68

5.29 ผลตอบของระบบที่ใช้พารามิเตอร์ชุดที่ได้จากการจูนระบบที่ไม่กระทบกัน 69
ที่บริเวณเริ่มกระทบ

5.30 ผลตอบของระบบที่ใช้พารามิเตอร์ชุดที่ได้จากการจูนระบบที่เวลานานมาก 70

5.31 ผลตอบของระบบที่ใช้พารามิเตอร์ชุดที่ได้จากการจูนระบบที่กระทบกัน 70
ในช่วงต้นของการเลียนแบบ

5.32 ผลตอบของระบบที่จูนแล้วเมื่อถูกรบกวนด้วยฟังก์ชันแบบพัลส์ 71

5.33 ผลตอบของระบบที่จูนแล้วเมื่อถูกรบกวนด้วยฟังก์ชันแบบสุ่ม 72

5.34 ผลตอบของระบบที่ใช้วาล์วควบคุมแบบอีควาลเปอร์เซ็นเตจ 73

5.35 ผลตอบของระบบเมื่อเซ็ทพอยท์อยู่ที่จุดต่อของการกระทบกันภายในระบบ 74

5.36 ผลตอบหลังเดินเครื่องเมื่อตัวควบคุมใช้พารามิเตอร์ 2 ชุด 78

5.37 ผลตอบหลังเดินเครื่องเมื่อตัวควบคุมใช้พารามิเตอร์ชุดแรก 78

5.38 ผลตอบหลังเดินเครื่องเมื่อตัวควบคุมใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 2 79

5.39 ผลตอบหลังเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสเต็พเมื่อใช้พารามิเตอร์ 2 ชุด 80

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.40 ผลตอบหลังเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสเต็พเมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 1 80

5.41 ผลตอบหลังเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสเต็พเมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 2 81

5.42 ผลตอบหลังเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบพัลส์เมื่อใช้พารามิเตอร์ 2 ชุด 82

5.43 ผลตอบหลังเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบพัลส์เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 1 83

5.44 ผลตอบหลังเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบพัลส์เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 2 83

5.45 ผลตอบหลังเปลี่ยนเซ็ทพอยท์ 2 พัลส์เมื่อใช้พารามิเตอร์ 2 ชุด 84

5.46 ผลตอบหลังเปลี่ยนเซ็ทพอยท์ 2 พัลส์เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 1 85

5.47 ผลตอบหลังเปลี่ยนเซ็ทพอยท์ 2 พัลส์เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 2 85

5.48 ผลตอบเมื่อใส่ตัวรบกวนแบบสเต็พ ตัวควบคุมใช้พารามิเตอร์ 2 ชุด 86

5.49 ผลตอบเมื่อใส่ตัวรบกวนแบบสเต็พ ตัวควบคุมใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 1 87

5.50 ผลตอบเมื่อใส่ตัวรบกวนแบบสเต็พ ตัวควบคุมใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 2 87

5.51 ผลตอบเมื่อใส่ตัวรบกวนแบบพัลส์ ตัวควบคุมใช้พารามิเตอร์ 2 ชุด 88

5.52 ผลตอบเมื่อใส่ตัวรบกวนแบบพัลส์ ตัวควบคุมใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 1 89

5.53 ผลตอบเมื่อใส่ตัวรบกวนแบบพัลส์ ตัวควบคุมใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 2 89

5.54 ผลตอบเมื่อใส่ตัวรบกวนแบบพัลส์ 2 ลูก ตัวควบคุมใช้พารามิเตอร์ 2 ชุด 90

5.55 ผลตอบเมื่อใส่ตัวรบกวนแบบพัลส์ 2 ลูก ตัวควบคุมใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 1 91

5.56 ผลตอบเมื่อใส่ตัวรบกวนแบบพัลส์ 2 ลูก ตัวควบคุมใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 2 91

ก.1 โฟลว์ชาร์ทของฟังก์ชัน MODEL 99

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ก.2 โฟลว์ชาร์ทของฟังก์ชัน GetPID 104

ก.3 โฟลว์ชาร์ทของฟังก์ชัน KVC 108

ก.4 โฟลว์ชาร์ทของฟังก์ชัน Get_K_R_Td 109

ก.5 โฟลว์ชาร์ทของฟังก์ชัน Disturbance 111

ข.1 ภาพไดอะแกรมของระบบ 115

ข.2 หน้าจอหลักของโปรแกรมเมื่อกดปุ่ม 'About' 118

ข.3 หน้าจอการเลียนแบบระบบและแก้ไขพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแสดง 119
กราฟผลตอบ

ข.4 รูปไดอะแกรมของกระบวนการแสดงผลตอบเป็นตัวเลข 119

ข.5 หน้าจอแก้ไขพารามิเตอร์ทั้งหมดของระบบ 120

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

คำอธิบายสัญญลักษณ์

A	พื้นที่หน้าตัด
CO	สัญญาณจากตัวควบคุม, สัญญาณควบคุม
Cv	ค่าคงที่ของวาล์ว
D	ตัวรบกวน
D	สัญญาณรบกวน
e	ค่าความผิดพลาด
F	อัตราการไหลโดยปริมาตร
f	ค่าคงที่คุณสมบัติของวาล์ว
g_s	ความถ่วงจำเพาะของของเหลว
h	ความสูง
LIC	ตัวแสดงผลและควบคุมระดับ
l	ระดับการเปิดวาล์ว, ค่าการเปิดวาล์ว
Kc	เกนของตัวควบคุมแบบสัดส่วน
m	มวล
n	ตัวแปรระยะเวลา
P	ตัวแปรจากปัมพ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

PB%	แบนด์สัดส่วน
PV	ตัวแปรกระบวนการ
Pv	ความดันตกคร่อมวาล์ว
Q	ความร้อน
R	ส่วนกลับของค่าคงตัวเวลาอินทีกรัล
S	ปริมาณพื้นฐาน
t	เวลา
V.	วาล์ว
V	ปริมาตร
VC	ควบคุม
W_S	งานเพลา
ρ	ความหนาแน่น
τ	ค่าคงตัวเวลา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University