

ด้านบนเว้นระยะจาก
ขอบบน 1 นิ้ว

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

อักษร **Angsana New**
ตัวหนา ขนาด 16 พอยท์

เว้น 1 บรรทัด

ด้านซ้ายเว้นระยะ
จากขอบซ้าย 1.5 นิ้ว

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การควบคุมความดันในถังลมแบบอนุกรม 2 ถัง
ด้วยการควบคุมแบบ PI

Thesis Title

Pressure Control in Series 2 Tanks With PI Controller

หมายเลขวิทยานิพนธ์

PIT-2016-M-ENG-EEE-005

นักศึกษา

ไม่ต้องใส่คำนำหน้าชื่อ

ชัยพร ไทรเกตุ

รหัสประจำตัว

5701021701

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ หวังนิพนานโต

เว้น 1 บรรทัด

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ ดร.เสถียร ธัญญศิริรัตน์	ประธาน	
รองศาสตราจารย์ ดร.เดชา พวงดาวเรือง	กรรมการ	
รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ หวังนิพนานโต	กรรมการ	

เว้น 1 บรรทัด

คณะวิชาเป็นผู้ออกใบรับรองโดย
คณบดีคณะวิชานั้น ลงนาม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

เว้น 2 บรรทัด

(รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์พันธุ์ ฤกษ์จุ่มทรัพย์)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

ด้านบนเว้นระยะจาก
ขอบล่าง 1 นิ้ว

ด้านบนเว้นระยะจาก
ขอบบน 1 นิ้ว

เลขหน้าบทคัดย่อ
ใช้อักษรโรมัน

V

ด้านซ้ายเว้นระยะ
จากขอบซ้าย 1.5 นิ้ว

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การควบคุมความดันในถังลมแบบอนุกรม 2 ถึง
ด้วยการควบคุมแบบ PI

ด้านขวาเว้นระยะจาก
ขอบขวา 1 นิ้ว

นักศึกษา

นายชัยพร ไทรเกตุ

รหัสประจำตัว

5701021701

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา

2559

ปีการศึกษาที่ส่ง
เล่มวิทยานิพนธ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ หวังนิพนพานโต

เว้น 1 บรรทัด

บทคัดย่อ

บทคัดย่อเนื้อหา
ให้เพียง 1
ย่อหน้าเท่านั้น

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ศึกษาการควบคุมความดันในถังลมให้คงที่ตามความต้องการของผู้ใช้
ถึงเก็บความดันที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 ซม. ยาว 60 ซม. และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25
ซม. ยาว 30 ซม. ซึ่งต่ออนุกรมกัน ในการออกแบบระบบควบคุมความดันในระบบปิดจะใช้วิธีการ
ของ Ziegler Nichols ในการออกแบบตัวควบคุม PI และตั้งค่าพารามิเตอร์บนโปรแกรม LabVIEW
เพื่อศึกษาอิทธิพลของสมรรถนะการควบคุมและการรบกวนของระบบที่เงื่อนไขต่างกัน จากการ
ทดสอบพบว่าเมื่อมีการตั้งค่าความดันเป้าหมายเพิ่มขึ้นหรือลดลง ระบบควบคุมที่ออกแบบสามารถ
ปรับปรุงระบบในถังให้มีความดันได้ตามต้องการ โดยมีค่าความผิดพลาดที่สถานะคงที่ไม่เกิน 5%
และระยะเวลาขาขึ้น (Rise time) ไม่เกิน 12 วินาที ตามที่ระบุไว้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เว้น 1 บรรทัด

คำสำคัญ: ระบบอันดับหนึ่ง, ตัวควบคุมพีไอ, แลปวิวส์

ด้านบนเว้นระยะจาก
ขอบล่าง 1 นิ้ว

ด้านบนเว้นระยะจาก
ขอบบน 1 นิ้ว

เลขหน้าAbstract
ใช้อักษรโรมัน

VI

ด้านซ้ายเว้นระยะ
จากขอบซ้าย 1.5 นิ้ว

Thesis Title Pressure Control in Series 2 Tanks With PI Controller
Student Chaiyaporn Saigate
Student ID. 5701021701
Degree Master of Engineering
Program Electrical Engineering
Academic Year 2016
Thesis Advisor Assoc. Prof. Dr. Santi Wangnipparnto

ด้านขวาเว้นระยะจาก
ขอบขวา 1 นิ้ว

เว้น 1 บรรทัด

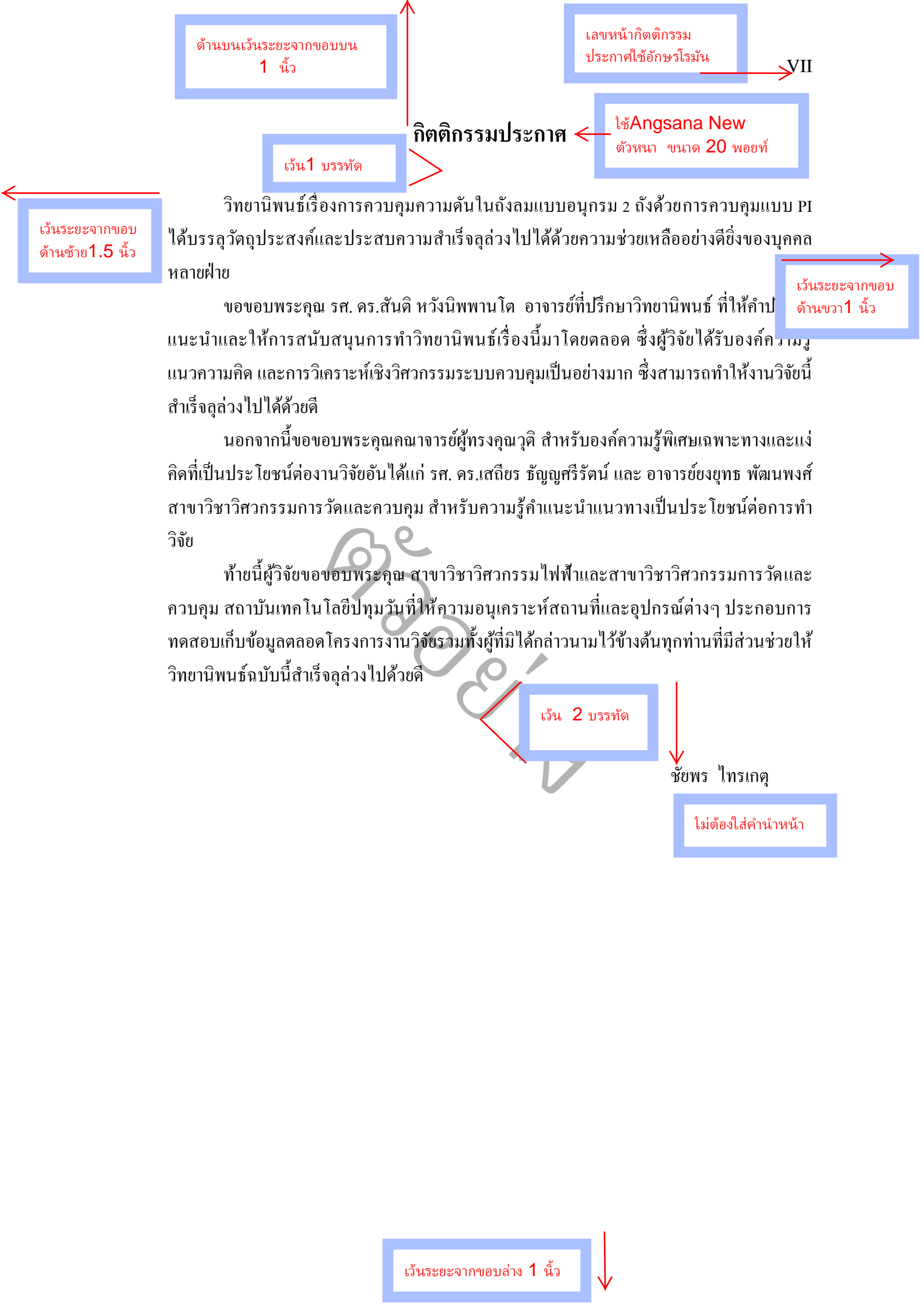
Abstract

The research studies on the stability of the pressure control containing the air in tank in order to maintain the set point pressure as the user demand. Pressure tanks have diameter 12 cm and length 60 cm and diameter 25 cm and length 30 cm are connected in series. The Ziegler Nichols method's used for designed the PI controller and set parameter on LabVIEW program in order to studies influence of parameters on the control performance under disturbance conditions. It was found that when the set point pressure increase or decrease, the designed controller is able to control the air pressure in the tank at the steady state has the error less than 5%, and the rise time less than 12 seconds per pressure step which is coincidental with the specified trajectory effectively control scheme.

บทคัดย่อเนื้อหา
ให้เพียง 1
ย่อหน้าเท่านั้น

เว้น 1 บรรทัด

Keywords : First Order System, PI Controller, LabVIEW



ด้านบนเว้นระยะจากขอบบน
1 นิ้ว

เลขหน้ากิตติกรรม
ประกาศใช้อักษรโรมัน

VII

กิตติกรรมประกาศ

ใช้Angsana New
ตัวหนา ขนาด 20 พอยท์

เว้น1 บรรทัด

เว้นระยะจากขอบ
ด้านซ้าย 1.5 นิ้ว

วิทยานิพนธ์เรื่องการควบคุมความดันในถังลมแบบอนุกรม 2 ถึงด้วยการควบคุมแบบ PI ได้บรรลุวัตถุประสงค์และประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของบุคคลหลายฝ่าย

เว้นระยะจากขอบ
ด้านขวา 1 นิ้ว

ขอขอบพระคุณ รศ. ดร.สันติ หวังนิพนานโต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำและให้การสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์เรื่องนี้มาโดยตลอด ซึ่งผู้วิจัยได้รับองค์ความรู้ แนวความคิด และการวิเคราะห์เชิงวิศวกรรมระบบควบคุมเป็นอย่างมาก ซึ่งสามารถทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นอกจากนี้ขอขอบพระคุณคณาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิ สำหรับองค์ความรู้พิเศษเฉพาะทางและแนวคิดที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยอันได้แก่ รศ. ดร.เสถียร ธัญญศิริรัตน์ และ อาจารย์ยงยุทธ พัฒนพงศ์ สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม สำหรับความรู้คำแนะนำแนวทางเป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัย

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและสาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ต่างๆ ประกอบการทดสอบเก็บข้อมูลตลอดโครงการงานวิจัยรวมทั้งผู้ที่มีได้กล่าวนามไว้ข้างต้นทุกท่านที่มีส่วนช่วยให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เว้น 2 บรรทัด

ชัยพร ไทรเกตุ

ไม่ต้องใส่คำนำหน้า

เว้นระยะจากขอบล่าง 1 นิ้ว

ด้านบนเว้นระยะจากขอบบน
1 นิ้ว

เลขหน้าสารบัญ
ใช้อักษรโรมัน

VIII

Angsana New
ตัวหนา ขนาด 20 พอยท์

สารบัญ

เว้นระยะจากขอบ
ด้านซ้าย 1.5 นิ้ว

บทคัดย่อภาษาไทย
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ
กิตติกรรมประกาศ
สารบัญตาราง
สารบัญภาพ
คำย่อและสัญลักษณ์

ใช้อักษรโรมัน

หน้า
V
VI
VII
X
XI
XIII

บทที่ 1 บทนำ

- 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา
- 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์
- 1.3 สมมติฐาน
- 1.4 แนวคิดที่ใช้ในการวิจัย
- 1.5 ขอบเขตของการวิจัย
- 1.6 ขั้นตอนการศึกษา
- 1.7 นิยามคำศัพท์เฉพาะ
- 1.8 ระยะเวลาในการศึกษา

1

เว้นระยะ
จากขอบ
ด้านขวา
1 นิ้ว

ระหว่างบทต่างๆ
เว้น 1 บรรทัด

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- 2.1 ทฤษฎีพื้นฐานด้านกลศาสตร์ของไหล
- 2.2 กลศาสตร์ของไหลเบื้องต้น
- 2.3 ทฤษฎีระบบอันดับหนึ่งและระบบอันดับสอง
- 2.4 ทฤษฎีการควบคุมแบบ PID
- 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

- 3.1 ขั้นตอนการวิจัย
- 3.2 สถานที่การทดลองและเก็บข้อมูล
- 3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

50

51

52

52

เว้นระยะจากขอบล่าง 1 นิ้ว

ถ้าไม่จบใน 1 หน้า หน้าถัดไปให้พิมพ์คำว่า "สารบัญ(ต่อ)"

ด้านบนเว้นระยะจากขอบบน
1 นิ้ว

เลขหน้าสารบัญ
ใช้อักษรโรมัน

IX

คำว่า
"หน้า"
ชิดขอบ
ขวา

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.4 การออกแบบตัวควบคุมด้วยซอฟต์แวร์	56
3.5 การออกแบบระบบควบคุมความดันในถังลม	58
3.6 การใช้อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ NI DAQ รุ่น USB-6008	58

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 ระบบควบคุมความดันในถังลมแบบอนุกรม 2 ถัง	60
4.2 ผลการทดสอบหาค่าทรานเฟอร์ฟังก์ชันของระบบ	61
4.3 การหาค่าทรานเฟอร์ฟังก์ชันของระบบและระบบจำลองแบบเปิด	61
4.4 การออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีซีเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols)	63
4.5 สมรรถนะของระบบควบคุมความดันในถังลม	64
4.6 ผลการทดสอบในกรณีเปลี่ยนแปลงโหลดแบบทันทีทันใด	65
4.7 ผลจากการรบกวนในถังลมแบบต่อเนื่อง	66

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	67
5.1 บทสรุป	67
5.2 ปัญหาที่พบในการวิจัยและแนวทางในการแก้ไขปัญหา	67
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา	68

เอกสารอ้างอิง	69
---------------	----

ภาคผนวก	74
---------	----

ก โปรแกรม LabVIEW	75
-------------------	----

ข งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ที่ได้รับการตีพิมพ์	102
----------------------------------------------------------	-----

ประวัติผู้วิจัย	112
-----------------	-----

ด้านซ้าย
เว้นระยะจาก
ขอบซ้าย
1.5 นิ้ว

เว้น
จากขอบ
ด้านขวา
1 นิ้ว

เว้นระยะจากขอบล่าง 1 นิ้ว

ด้านบนเว้นระยะจากขอบบน
1 นิ้ว

เลขหน้าสารบัญ
ใช้อักษรโรมัน

X

สารบัญตาราง

Angsana New
ตัวหนา ขนาด 20 พอยท์

คำว่า
"หน้า"
ชิดขอบ
ขวา

ตารางที่

หน้า

ด้านซ้าย
เว้นระยะจากขอบ
ซ้าย
1.5 นิ้ว

- 2.1 แสดงส่วนประกอบของท่อเทียบเท่าท่อตรง
- 2.2 ผลกระทบของค่าเกินในตัวควบคุมแบบ PID ต่อการตอบสนองของระบบ
- 2.3 ค่าเกินของตัวควบคุมแบบต่าง ๆ โดยวิธีการปฏิบัติการของกระบวนการ
- 2.4 ค่าเกินของตัวควบคุมแบบต่าง ๆ โดยวิธีการวัฏจักรสุดท้าย

13

41

43

44

เว้น
จากขอบ
ด้านขวา
1 นิ้ว

ตัวอย่าง

ถ้าไม่จบใน 1 หน้า หน้าถัดไปให้พิมพ์คำว่า "สารบัญภาพ(ต่อ) "

สารบัญภาพ

คำว่า
"หน้า"
ขีดขอบ
ขวา

หน้า

5

6

7

9

11

14

15

16

16

19

22

25

26

27

28

29

30

32

33

34

35

35

36

37

38

39

40

42

ภาพที่

2.1 หลักเบื้องต้นของปาสกาล

2.2 ความสัมพันธ์ของความดันที่ระดับต่างๆ ในของเหลว

2.3 Steady Flow

2.4 มาโนมิเตอร์

2.5 แสดงตำแหน่งและระยะวัดของพิทอตทิวบ์

2.6 แสดงค่า Shape Fraction ของรูที่ลักษณะต่างกัน

2.7 ทฤษฎีของปาสกาล

2.8 ความดันกับความลึกของของไหล

2.9 การไหลในสภาวะปกติ

2.10 ชั้นขอบเขตของความเร็วที่ถูกสร้างขึ้นมาเมื่อมีการไหลที่ผิวของวัตถุ

2.11 การไหลภายในท่อกลม

2.12 แผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างค่า f และค่า Re

2.13 การไหลผ่านหัวฉีด

2.14 การไหลผ่านออริฟิซ

2.15 การไหลในเสดแท็งค์

2.16 ระบบอันดับ 1 (First-order system)

2.17 การตอบสนองของระบบอันดับหนึ่งต่ออินพุตแบบสัญญาณระดับ

2.18 การตอบสนองของระบบอันดับสอง เมื่ออินพุตเป็น Unit step ทั้ง 4 กรณี

2.19 ลักษณะการตอบสนองชั่วขณะของระบบอันดับสอง

2.20 โพลมีส่วนจริงคงที่

2.21 โพลมีส่วนจินตภาพคงที่

2.22 อัตราส่วนการแกว่งมีขนาดคงที่

2.23 กราฟ PV ต่อเวลา K_p กำหนดเป็น 3 ค่า (K_i และ K_d คงที่)

2.24 กราฟ PV ต่อเวลา K_i กำหนดเป็น 3 ค่า (K_p และ K_d คงที่)

2.25 กราฟ PV ต่อเวลา, สำหรับ K_d 3 ค่า (K_p และ K_i คงที่)

2.26 ส่วนประกอบของระบบควบคุมอัตโนมัติ

2.27 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้กำหนดคุณสมบัติเฉพาะของการตอบสนองของระบบ

2.28 การตอบสนองของระบบโดยวิธีการปฏิกิริยาของกระบวนการ

ด้านซ้าย
เว้นระยะจากขอบ
ซ้าย
1.5 นิ้ว

เว้น
จากขอบ
ด้านขวา
1 นิ้ว

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.29 ผลตอบสนองทางเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง	43
3.1 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบการควบคุมความดันในถังลม	50
3.2 ขั้นตอนการทำวิจัย	51
3.3 เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับสั่งการและบันทึกข้อมูลการทำงานของระบบ	52
3.4 เซนเซอร์ตรวจวัดความดัน (Pressure Sensor)	53
3.5 โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valve)	53
3.6 วาล์วแบบอัตราส่วน (Actuator)	54
3.7 วาล์วปรับแรงดัน (Regulation Valve)	54
3.8 ถังลมแหล่งจ่าย	55
3.9 ถังเก็บความดัน	55
3.10 หน้าต่าง Front panel	57
3.11 หน้าต่าง Block Diagram	57
3.12 ระบบทดสอบโดยรวมของการควบคุมความดันในถังลม	58
3.13 อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ NI DAQ รุ่น USB-6008	59
3.14 คอนเนคเตอร์ของอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ NI DAQ รุ่น USB-6008	59
4.1 การติดตั้งระบบทดสอบการควบคุมความดันในถังลม	60
4.2 การตอบสนองของระบบความดันเมื่อป้อนอินพุตแบบขั้น	61
4.3 การหาทรานเฟอร์ฟังก์ชันกซ์ของระบบควบคุมความดันในถังลม	62
4.4 ผลการจำลองระบบเปิดด้วยโปรแกรม MATLAB	62
4.5 Block Diagram ของ Plant Model การควบคุมความดันในถังลม	63
4.6 ผลการตอบสนองของระบบแบบปิดเมื่อป้อนค่าพารามิเตอร์ $K_p = 3.60$ และ $T_i = 1.667$	63
4.7 ผลตอบสนองของระบบควบคุมความดันในถังลมแบบขั้นบันได	64
4.8 ผลตอบสนองต่อการรบกวนระบบในถังลมที่พิจารณาแบบทันทีทันใด	65
4.9 ผลตอบสนองต่อการรบกวนระบบในถังลมที่พิจารณาแบบต่อเนื่อง	66

ด้านบนเว้นระยะจากขอบบน
1 นิ้ว

เลขหน้าสารบัญ
ใช้อักษรโรมัน
→ XIII

Angsana New
ตัวหนา ขนาด 20 พอยท์



รายการคำย่อและสัญลักษณ์

ด้านซ้าย
เว้นระยะจากขอบ
ซ้าย
1.5 นิ้ว

P	หมายถึง	ความดันสัมบูรณ์ [Pa]
T	หมายถึง	อุณหภูมิสัมบูรณ์ [K]
m	หมายถึง	มวล [kg]
R	หมายถึง	ค่าคงที่ของก๊าซ [J/kg.K]
F	หมายถึง	แรงกระทำในแนวตั้งฉาก [N]
A	หมายถึง	พื้นที่ [m ²]
P _o	หมายถึง	ความดันบรรยากาศ [Pa]
Z	หมายถึง	ความลึก (ความสูง) [m]
ρ	หมายถึง	ความหนาแน่น [kg/m ³]
g	หมายถึง	ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก [m/s ²]
Q	หมายถึง	อัตราการไหลเป็นปริมาตร [m ³ /s]
V	หมายถึง	ความเร็ว [m/s]
M	หมายถึง	อัตราไหลของมวล [kg/s]
E _{in}	หมายถึง	พลังงานเข้า [J/kg]
E _{out}	หมายถึง	พลังงานออก [J/kg]
E _{loss}	หมายถึง	พลังงานสูญเสียเนื่องจากความดันลดลง [J/kg]
h	หมายถึง	เอนทาลปี [J/kg]
$\frac{V^2}{2}$	หมายถึง	พลังงานจลน์ [J/kg]
gZ	หมายถึง	พลังงานศักย์ [J/kg]
P _t	หมายถึง	ความดันรวม [Pa]
P _s	หมายถึง	ความดันสถิต [Pa]
P _d	หมายถึง	ความดันไดนามิก [Pa]
ρ'	หมายถึง	ความหนาแน่นของไหลในมาโนมิเตอร์ [kg/m ³]
L	หมายถึง	ความยาวของท่อ [m]
D	หมายถึง	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ [m]
f	หมายถึง	สปส. ความเสียดทาน (ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ทำท่อ) [-]
α	หมายถึง	Shape factor ของรูปประมาณ 0.65 – 0.97
P ₂ -P ₁	หมายถึง	ค่าความแตกต่างของความดัน ระหว่างจุดที่ 1 และจุดที่ 2
Z ₂ -Z ₁	หมายถึง	ค่าความแตกต่างกันของความลึกในของเหลว [m]
A _c	หมายถึง	พื้นที่หน้าตัดที่ทางออกของหัวฉีด

ด้านขวา
เว้น
จากขอบ
ด้านขวา
1 นิ้ว

เว้นระยะจากขอบล่าง 1 นิ้ว



ถ้าไม่จบใน 1 หน้า หน้าถัดไปให้พิมพ์คำว่า
"รายการคำย่อและสัญลักษณ์(ต่อ) "

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

A_E	หมายถึง	น้ำที่ทางออก (a x b)
H	หมายถึง	$Z_1 - Z_2$
P_{out}	หมายถึง	สัญญาณขาออกของเทอมสัดส่วน
K_p	หมายถึง	อัตราขยายสัดส่วน ตัวแปรปรับค่าได้
e(t)	หมายถึง	ค่าความผิดพลาดในแต่ละช่วงเวลา
I_{out}	หมายถึง	สัญญาณขาออกของเทอมปริพันธ์
K_i	หมายถึง	อัตราขยายปริพันธ์ ตัวแปรปรับค่าได้

ตัวอย่าง